Г. Чинн

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОРУЖИЕ

19[illegible]

Г. ЧИНН

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОРУЖИЕ

АНАЛИЗ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

(том IV, часть X)

Перевод с английского М. И. Пастухова

Под общей редакцией О. К. Кузьмина, А. Я. Шайденко

1959

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

В период с 1951 по 1955 год в США были выпущены четыре тома книги Георга М. Чинна «Автоматическое оружие».

Эта книга была подготовлена и издана специально для Артиллерийского управления ВМФ США и по объему, а также перечню затронутых в ней вопросов может быть названа своеобразной энциклопедией по автоматическому оружию.

В первом томе книги Г. Чинна содержится исторический обзор развития огнестрельного оружия как неавтоматического, так и автоматического, и дается описание образцов скорострельного неавтоматического и автоматического оружия, начиная с картечниц и кончая образцами, появившимися на вооружении к концу второй мировой войны.

Содержание второго и третьего томов книги неизвестно, так как они не поступили в свободную продажу.

Предлагаемое вниманию читателей издание — перевод четвертого тома книги Г. Чинна «Автоматическое оружие».

Автор книги уделил достаточное внимание анализу физической сущности процессов, протекающих в оружии при стрельбе.

В книге содержится богатый систематизированный материал по конструктивному оформлению основных узлов автоматического оружия.

Как видно из предисловия к американскому изданию, автор, работая над этой книгой, стремился «помочь восстановить в США почти забытое искусство конструирования автоматического оружия».

Книга Г. Чинна является официальным изданием. Характерная особенность этого издания заключается в том, что в нем принимал участие кроме самого автора большой коллектив специалистов-оружейников ряда промышленных фирм, а также армии и флота США.

Последнее обстоятельство позволяет судить на основе материалов, помещенных в книге, о современном уровне, достигнутом в США в вопросах расчета, проектирования и конструирования автоматического оружия.

Книга Г. Чинна «Автоматическое оружие» будет полезна для широкого круга специалистов, работающих в области создания оружия.

О. К. Кузьмин
А. Я. Шайденко
М. И. Пастухов

ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ АВТОРА

. . . В IV томе книги «Автоматическое оружие» анализируются принципы, определяющие конструкцию автоматического оружия.

Анализ указанных принципов проводится с тем, чтобы конструктор мог оценить предельные возможности выбранной системы автоматики.

Для иллюстрации расчетов выбран обычный патрон калибром 20 мм.

Используя этот калибр, можно проводить сравнительный анализ конструкций стрелкового оружия и авиационных пушек.

Анализ всех систем в книге проводится с точки зрения создания авиационной пушки, поскольку этот тип оружия, благодаря особенностям его эксплуатации, требует наибольшего совершенства в конструктивном отношении. Преодолев трудности, связанные с проектированием авиационной пушки, конструктор может сам убедиться, что все другие проблемы могут быть решены достаточно просто.

В X части книги «Автоматическое оружие» содержится детальный инженерный и математический анализ основных источников энергии для автоматических систем. Этот материал обобщает многочисленные наблюдения и практический опыт, накопленные в течение ряда лет. Результаты переведены на язык цифр и формул, приспособленных для практического применения.

В XI части книги представлены примеры конструктивного оформления основных узлов автоматического оружия, как например, патроноподающих механизмов, запирающих, револьверных механизмов, ускорителей, шептал, отражателей и других деталей. Материал систематизирован и может быть использован конструктором в качестве руководства.

Источником этих иллюстраций явились патенты, опытные образцы, штатные системы и возможные конструкции будущего, имеющие пока теоретический характер.

Точные названия систем, узлы которых использованы в качестве иллюстраций, на чертежах не приводятся, чтобы не смущать читателей авторитетом или неизвестностью автора той или иной конструкции.

Если книга «Автоматическое оружие» сможет в какой-то степени помочь восстановить в США почти забытое искусство конструирования автоматического оружия, т. е. ту инженерную область знаний, в которой когда-то американцы, безусловно, первенствовали, то труд, затраченный на составление этой книги, будет полностью оправдан.

Автор приносит свою благодарность за помощь, оказанную ему при составлении книги, следующим организациям и лицам:
— руководству Артиллерийского управления ВМФ (отделение авиационного вооружения, научно-исследовательский отдел)
— руководству фирмы Браунинг Армс Ко
— военно-техническому командному составу ВМФ США и морских арсеналов и корпуса морской пехоты

— военно-техническому составу Артиллерийского полигона военно-морской авиации
— специалистам по оружию Американского общества артиллеристов
— техническому составу органов безопасности
— руководству фирмы Уайт
— техническому составу Бюро аэронавтики ВМФ США
— техническому составу Патентного бюро
— техническому и научному персоналу Национального музея, Национального авиационного музея, музея Военной истории, Смитсонианского музея.
— техническому и командному составу ВВС США
— руководству фирмы Олиан Матиссон Кемикел Корп.
— техническому и инженерному составу Национальной стрелковой ассоциации
— издательскому сектору Артиллерийского управления США
— руководству и специалистам Абердийнского полигона
— видным специалистам-оружейникам Гатчеру, Джонсону, Кингу и др.

Георг М. Чинн

От редакции: При издании перевода книги „Автоматическое оружие“, оказалось целесообразным сохранить принятую автором систему мер. Но в некоторых случаях, для облегчения пользования книгой, сделан перевод системы мер в метрическую.

Перевод сделан на основе следующих соотношений:

Основные единицы

Мера длины — *фут, дюйм*

1 *фут* = 12 *дюймам* = 30,48 *см*

1 *дюйм* = 2,54 *см*

Мера веса, силы — *фунт*

1 *фунт* = 0,45359 *кг*

Мера времени — *секунда*

.01 *сек* = 0,01 *сек*

Производные единицы

Мера массы — $\frac{фунт.\,сек^2}{фут}$

$$1\ \frac{фунт.\,сек^2}{фут} = 0{,}0149\ \frac{кг.\,сек^2}{см}$$

Мера давления — $\frac{фунт}{дюйм^2}$

$$1\ \frac{фунт}{дюйм^2} = 0{,}0704\ \frac{кг}{см^2}$$

Мера жесткости — $\frac{фунт}{фут}$

$$1\ \frac{фунт}{фут} = 0{,}0149\ \frac{кг}{см}$$

Мера энергии — *фунт. фут*

1 *фунт. фут* = 13,85 *кг. см*

Мера количества движения — *фунт. сек*

1 *фунт. сек* = 0,45359 *кг. сек*

Мера скорости — *фут/сек*

1 *фут/сек* = 30,48 *см/сек*

Мера ускорения — $фут/сек^2$

$1\ фут/сек^2 = 30{,}48\ см/сек^2$

Глава первая

СИСТЕМЫ СО СВОБОДНЫМ ИЛИ ЗАМЕДЛЕННЫМ ОТКАТОМ ЗАТВОРА, ОСНОВАННЫЕ НА ПРИНЦИПЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПОРОХОВЫХ ГАЗОВ НА ДНО ГИЛЬЗЫ

При проектировании любого огнестрельного оружия необходимо предусмотреть надежное запирание канала ствола при выстреле. Во многих системах автоматического оружия это требование обеспечивается путем создания принудительного жесткого запирания затвора, удерживаемого в запертом положении до тех пор, пока давление пороховых газов в стволе не упадет до величины, при которой отпирание затвора не вызовет нарушения работы автоматики.

Однако абсолютно жесткое запирание не является обязательным. Можно допустить известное перемещение затвора и гильзы при выстреле, если оно будет иметь определенную закономерность. Более того, это перемещение может быть использовано как источник энергии для приведения в действие автоматики оружия.

Автоматическая система, в которой энергия, обеспечивающая работу ведущего звена автоматики, зависит от смещения гильзы под действием давления пороховых газов в канале ствола, обычно называется системой с отдачей затвора (со свободным или инерционным затвором, с полусвободным затвором и с замедленным отпиранием в зависимости от конструктивных характеристик системы).

В одних автоматических системах, рассчитанных на боеприпасы сравнительно малой мощности, вся энергия, необходимая для обеспечения цикла автоматики, воспринимается свободно откатывающимся затвором. В других системах энергия свободного отката затвора используется лишь для выполнения отдельных операций автоматического цикла, т. е. дополняет энергетический баланс автоматической системы при совершенно ином основном источнике энергии.

Обобщая понятие об автоматической системе, можно сказать, что система с отдачей затвора является частным случаем систем с отводом пороховых газов, поскольку гильзу можно рассматривать как поршень, на который действуют пороховые газы. Однако, поскольку система автоматики с отдачей затвора при своем конструктивном выполнении требует решения ряда специфических проблем, целесообразнее рассматривать ее как самостоятельный класс.

Вопрос о включении этой системы в более общий класс систем с отводом пороховых газов или с использованием отдачи носит чисто академический характер. Важно отметить лишь то, что она обладает некоторыми характеристиками, общими для обоих классов и, в зависимости от конкретно поставленной задачи, может рассматриваться как принадлежащая к тому или иному из них.

Наиболее характерным признаком автоматической системы с отдачей затвора является смещение гильзы назад под действием давления пороховых газов, и следовательно, любая система, обладающая этим свойством, может рассматриваться как система с отдачей затвора. Степень использования этого смещения зависит от того, как оно контролируется, в какой степени используется энергия, сообщенная затвору, и насколько она велика по сравнению с другими источниками энергии, применяемыми в данной системе автоматики.

Главной задачей при отработке системы с отдачей затвора является задача создания механизма управления смещением затвора, который обеспечил бы гильзе минимальные скорость и перемещение при большом давлении пороховых газов в канале ствола. Это условие совершенно необходимо для обеспечения обтюрации и предотвращения надрыва или полного обрыва корпуса гильзы при чрезмерно больших скоростях и перемещениях гильзы.

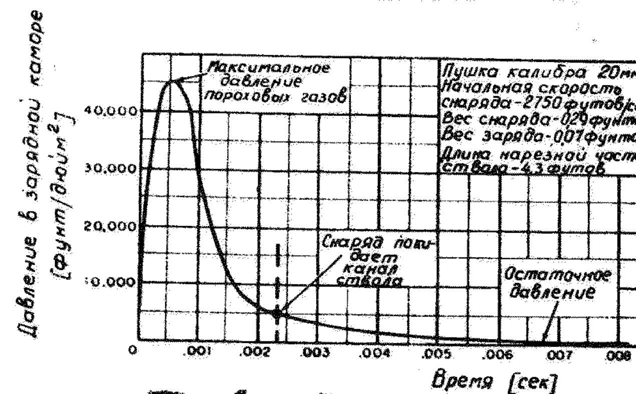
ПОВЕДЕНИЕ ГИЛЬЗЫ

Большое значение для любой системы с отдачей затвора имеет поведение гильзы при воздействии на нее пороховых газов. Поскольку поведение гильзы влияет на все конструктивные элементы оружия, основанного на принципе отдачи затвора, этот вопрос должен быть тщательно изучен и лишь после его анализа можно перейти к детальному разбору конструкции такой автоматической системы.

Большинство характеристик, приведенных в настоящей работе, относится к 20-*мм* патрону, применяемому, как правило, в штатных авиационных пушках.

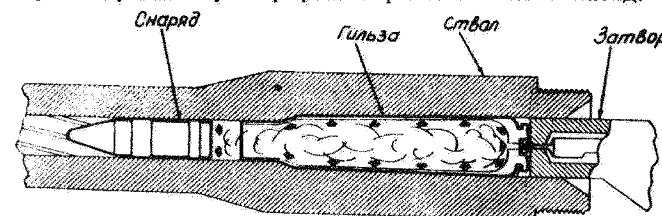
При сгорании порохового заряда возникают весьма высокие давления, изменяющиеся по величине за короткий промежуток времени. Хотя кривые давления различного типа боеприпасов калибра 20 *мм*, применяемых в автоматическом оружии, не идентичны, их характеристики более или менее типичны для всех патронов этого калибра. Как показано на фиг. 1, давление пороховых газов возрастает до величины 45000 фунтов на 1 кв. дюйм (3160 *кг/см²*) через 0,0005 ***сек.*** после воспламенения капсюля, а в момент вылета снаряда из канала, т. е. через 0,0023 ***сек.*** с момента воспламенения капсюля, падает до 5000 фунтов на 1 кв. дюйм (350 *кг/см²*). После вылета снаряда из канала ствола давление быстро падает до атмосферного.

Давление, удерживающееся в канале ствола после прохождения снарядом дульного среза, называется остаточным давлением. Практически это давление становится равным атмосферному спустя 0,008—0,009 ***сек.*** после воспламенения капсюля.



Фиг. 1. Изменение давления в зарядной каморе по времени.

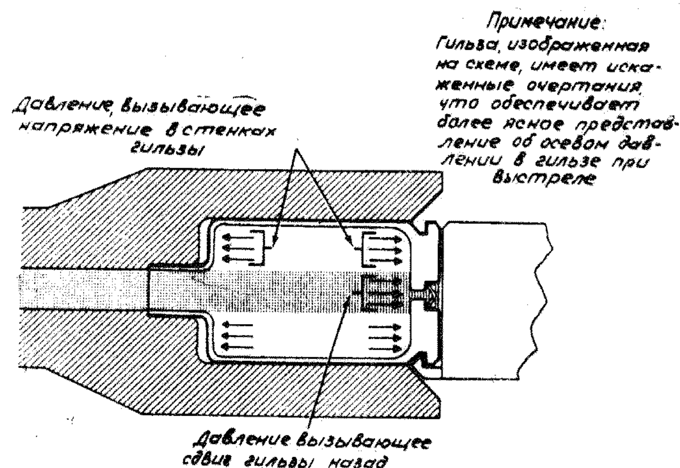
Давление пороховых газов равномерно распределяется внутри гильзы (фиг. 2). Радиальные составляющие давления пороховых газов, действуя на стенки гильзы, стремятся растянуть их, прижимая к стенкам патронника и обеспечивая тем самым обтюрацию, предотвращающую прорыв пороховых газов назад.



Фиг. 2. Давление в патроннике.

Следует отметить, что радиальные усилия, действующие на стенки гильзы, настолько велики, что при высокой температуре в патроннике в некоторых случаях наблюдалось приваривание металла гильзы к металлу патронника.

Продольная составляющая давления пороховых газов, действуя на дно гильзы, стремится сместить ее назад, преодолевая сопротивление затвора и трение гильзы о стенки патронника. Если считать, что гильза может свободно перемещаться в патроннике, то эта сила равна произведению давления в зарядной каморе на площадь поперечного сечения дульца гильзы по наружному диаметру, (фиг. 3).



Фиг. 3. Схема осевого давления.

Если проекция основания гильзы больше площади сечения по дульцу гильзы, то сила давления пороховых газов на дно гильзы больше, чем результирующее усилие. Однако эта разница уничтожается осевой составляющей, которая возникает при давлении пороховых газов на конусную часть корпуса и кольцевой передний скат гильзы. Осевая составляющая направлена в сторону движения снаряда. Следует отметить, что если бы гильза могла свободно перемещаться в патроннике, то растягивающее напряжение в ее стенках вызывалось бы равнодействующей силы, приложенной к основанию гильзы, и силы, стремящейся сдвинуть гильзу вперед.

Если затвор жестко запирает канал ствола и прочно удерживает основание гильзы, т. е. если зеркальный зазор равен нулю, то давление пороховых газов только прижимает гильзу к стенкам патронника и к зеркалу затвора. Но в случае отдачи затвора гильза и затвор в течение известного промежутка времени должны иметь возможность свободно перемещаться под давлением пороховых газов, что необходимо для получения запаса энергии, требующегося для работы автоматики.

С целью изучения этого движения затвора допустим, что он ничем не удерживается и его перемещению препятствует только сила инерции (как будет указано ниже, эти условия не обязательны для всех систем с отдачей затвора). При этом движение гильзы может быть разбито на три фазы.

Первая фаза. Давление, возникающее в течение первого периода сгорания заряда (0,0001 *сек.*), сравнительно невелико и недостаточно для того, чтобы прижать тонкие стенки дульца гильзы к патроннику, т. е. создать обтюрацию, препятствующую просачиванию пороховых газов назад.

Трение между гильзой и патронником в течение этой фазы бывает сравнительно небольшим, и осевая составляющая давления пороховых газов вызывает незначительное по величине смещение гильзы в патроннике. Таким образом выбирается зеркальный зазор, который практически всегда может иметь место в оружии, и начинается первоначальное смещение затвора. Ввиду инерционного сопротивления массивного затвора скорость этого перемещения относительно невелика*.

Вторая фаза смещения гильзы протекает в условиях весьма высоких давлений, характерных для восходящей и нисходящей ветвей изменения давления по времени (см. фиг. 1). Поведение гильзы в этой фазе целиком зависит от того, насколько хорошо смазана ее наружная поверхность. Если она совершенно не смазана или смазана недостаточно, то при расширении гильзы под действием пороховых газов создаются условия для непосредственного соприкосновения металла гильзы с металлом патронника и возникают большие силы трения гильзы о стенки патронника. Вследствие этого давление пороховых газов на дно гильзы вызывает растягивающие напряжения в стенках гильзы, причем в период высокого давления в канале ствола передняя часть корпуса гильзы может быть настолько прочно защемлена, что сила трения превысит предел прочности стенок гильзы. В этом случае передняя часть корпуса гильзы будет зажата в патроннике, а задняя его часть будет смещаться, вызывая пластическое растяжение стенок гильзы. Если затвор не обеспечивает достаточного инерционного сопротивления и допускает растяжение гильзы за допустимые пределы, 0,015 дюйма (0,38 *мм*), то гильза обрывается.

Здесь уместно остановиться на влиянии чрезмерно большого зеркального зазора при стрельбе патронами, не имеющими достаточной смазки. Смещение гильзы в течение первой фазы может не выбрать зеркального зазора до момента защемления передней части гильзы в патроннике. Допустим, что при этом останется некоторый зазор. В этом случае дно гильзы не будет удерживаться зеркалом затвора и в период максимального давления в канале ствола гильза начнет энергично растягиваться. Если невыбранный

* Если зеркальный зазор очень велик, то он не выбирается полностью до того момента, когда давление в патроннике возрастет до значительной величины. В этом случае применимы те же условия, которые рассмотрены ниже во второй фазе.

зеркальный зазор превышает величину допустимого удлинения гильзы, последняя неизбежно будет оборвана.

Примечание. Следует помнить, что силы, возникающие при максимальных давлениях пороховых газов, превосходят сопротивление тонкой стенки гильзы. При таких условиях растяжение гильзы неизбежно. Это явление можно иллюстрировать следующим примером. При защемленной передней части гильзы сила, стремящаяся растянуть гильзу,

$$F = AP,$$

где P — давление газов в канале ствола;

A — площадь внутренней поверхности дна гильзы.

При максимальном давлении $P = 3160$ *кг/см*² и при $A = 3{,}2$ *см* (данные соответствуют патрону калибра 20 *мм*) растягивающее усилие

$$F = 3160 \cdot 3{,}2 = 10000 \text{ кг}.$$

Максимальное сопротивление гильзы при растяжении

$$S = S_r \, \sigma_r = 0{,}65 \cdot 3500 = 2260 \text{ кг},$$

где $S_r = 0{,}65$ *см*² — поперечное сечение гильзы в зоне возможного растяжения;

$\sigma_r = 3500$ *кг/см*² — предел возможного сопротивления материала гильзы.

Фактически величина давления в канале ствола порядка 700 *кг/см*² уже может привести к явлению поперечного обрыва гильзы. Из фиг. 1 видно, что такие давления сохраняются в стволе почти до конца пиродинамического периода.

Следует обратить внимание на то, что сила, необходимая для преодоления сопротивления трения или для растяжения гильзы, уменьшает силу, действующую на затвор. В связи с этим можно ожидать прекращения работы автоматики, если величина сил трения превысит некоторую известную величину, так как импульс, передаваемый затвору, станет слишком мал, для того чтобы обеспечить его достаточно энергичный откат.

Все сказанное действительно только для несмазанной или недостаточно смазанной гильзы. Если же между наружными стенками гильзы и внутренними стенками патронника имеется достаточно толстый слой смазки требуемой консистенции, условия работы системы резко изменяются.

Смазка предназначена для того, чтобы создать равномерный слой, изолирующий стенку гильзы от непосредственного контакта со стенкой патронника даже в условиях очень больших давлений пороховых газов. Поскольку непосредственный контакт между металлом гильзы и металлом патронника отсутствует, гильза может свободно скользить в патроннике и единственным сопротивлением этому движению остаются усилия, необходимые для передвижения затвора и смещения одного слоя смазки относительно другого.

В соответствии с законами трения сопротивление трения между хорошо смазанными плоскими поверхностями сравнительно мало и практически не зависит от удельного давления между ними. Единственными факторами, достойными внимания, при этом остаются: поверхность, покрытая смазкой, вязкость смазки и скорость относительного перемещения смазанных поверхностей. Таким образом, хорошо смазанная гильза будет перемещаться в патроннике независимо от того, будет ли там высокое или низкое давление. Нормальная смазка полностью устраняет основную причину обрыва гильзы — защемление ее в патроннике.

Хотя нормальная смазка гильзы устраняет явление защемления, слишком большое смещение гильзы назад при высоком давлении пороховых газов может вызвать другие осложнения. В частности, оно может привести к тому, что задняя часть гильзы, выйдя из патронника, лишится радиальной опоры со стороны стенок патронника. При этом высокое давление пороховых газов внутри гильзы может раздуть или даже разорвать ее заднюю часть. Кроме того, даже в том случае, когда гильза находится в патроннике, может произойти нарушение обтюрации между стенками гильзы и стенками патронника и, как следствие этого, — прорыв пороховых газов в ствольную коробку.

В скорострельном автоматическом оружии, использующем действие пороховых газов на затвор через гильзу, известное нарушение обтюрации и проникновение пороховых газов в коробку неизбежно, но, если это явление становится особо энергичным, то в результате может произойти разрушение деталей автоматики и возникнет серьезная опасность для обслуживающего персонала.

Необходимо обратить внимание на некоторые специфические условия работы системы с отдачей затвора при применении гильз, имеющих большую бутылочность и конусность. В таких гильзах внутреннее давление пороховых газов может вызвать особенно большие растягивающие усилия в стенках гильзы (см. фиг. 3).

Смещение назад гильзы, обладающей большой бутылочностью, вызывает образование свободного пространства между передним скатом гильзы и передним конусом патронника. Поскольку передняя часть гильзы лишается при этом поддержки со стороны стенок ствола, давление внутри гильзы стремится переобжать ее переднюю часть, заполнив таким образом возникший зазор, причем гильза резко деформируется.

Если гильза имеет большую конусность, то при ее смещении назад образуется зазор между стенками гильзы и патронника. Так как при этом гильза более не поддерживается стенками ствола, внутреннее давление раздувает ее, заполняя образовавшийся зазор.

При любом из указанных условий деформация гильзы может быть достаточно большой, если смещение затвора вдоль оси ствола достигает значительной величины. Не исключается, что полученная деформация

превысит предел текучести материала гильзы. Нарушение прочности гильзы в виде надрывов или трещин может вызвать трудности в экстракции или отражении. Поэтому для автоматических систем с отдачей затвора рекомендуется применять цилиндрические гильзы и гильзы с незначительной бутылочностью.

Третья фаза. Последняя фаза смещения гильзы начинается, когда давление в канале ствола падает до такой степени, что стенки гильзы, получившие упругие деформации, восстанавливают свои исходные размеры. Тем самым сопротивление сил трения практически снижается до нуля. Остаточное давление в стволе продолжает отводить гильзу назад, но силы, действующие на стенки гильзы, становятся настолько малы, что опасность разрушения ее уже отпадает.

Фаза заканчивается, как только давление в канале ствола приближается к атмосферному. По времени она длится до момента, соответствующего концу действия остаточного давления в канале ствола, т. е. до .008 — .009 *сек.* с момента воспламенения капсюля.

Выводы

Все особенности поведения гильзы в автоматической системе с отдачей затвора, будучи суммированы, позволяют сделать следующий вывод, охватывающий основные характеристики и конструктивные требования этой автоматической системы:

Основные трудности, возникающие при создании автоматической системы, основанной на отдаче затвора или использующей непосредственное давление пороховых газов на затвор через дно гильзы, являются результатом чрезмерно большого перемещения гильзы в период высоких давлений в канале ствола и могут быть осложнены недостаточной смазкой гильзы.

При отработке автоматической системы такого типа следует тщательно рассмотреть все эти факторы, с тем чтобы избежать серьезных трудностей при эксплуатации.

Давление в канале ствола. Все трудности, возникающие при отработке систем с отдачей затвора, являются прямым следствием высоких давлений в канале ствола. Поэтому при уменьшении давления пороховых газов в канале ствола эти трудности, очевидно, могли бы исчезнуть.

К сожалению, значительное давление пороховых газов неизбежно для автоматических систем, работающих на патронах, обеспечивающих высокие баллистические характеристики и имеющих сравнительно большие калибры. Поэтому снижение максимального давления пороховых газов не может быть рекомендовано для конструктивного решения поставленной задачи. Такое решение может быть правильным только

для систем, в которых высокие баллистические характеристики не являются основной целью. Этот факт подтверждается тем, что принцип отдачи затвора легко осуществляется при использовании маломощных патронов в таких образцах автоматического оружия, как самозарядные пистолеты, пистолеты-пулеметы и ручные пулеметы.

Перемещение гильзы. Основной задачей конструктора, работающего над созданием мощной автоматической пушки, основанной на принципе отдачи затвора, является ограничение перемещения гильзы в момент возникновения высоких давлений в канале ствола. Решение этой задачи вследствие большого количества противоречивых требований связано с рядом конструктивных осложнений.

С одной стороны, поскольку в системе с отдачей затвора источником энергии для приведения в действие автоматики является давление пороховых газов в канале ствола, передаваемое через гильзу на затвор, сдвиг гильзы должен производиться в момент, когда пороховые газы еще достаточно активны. С другой стороны, этот сдвиг при достаточно высоком давлении вызывает обрыв и другие повреждения гильзы. При устранении этих дефектов (в первую очередь ограничение сдвига гильзы) одновременно следует принимать меры и по обеспечению для затвора достаточного импульса, гарантирующего безотказную работу пушки при заданном темпе стрельбы.

Применяя достаточную смазку, можно устранить поперечные обрывы гильз и получить сравнительно большую скорость затвора при высоком давлении в канале ствола. Однако именно высокая скорость затвора влечет за собой большую скорость экстракции гильзы и приводит к раннему отпиранию, что вызывает раздутие гильз, затрудняющее нормальное функционирование автоматики.

Все сказанное, а также и другие обстоятельства, о которых будет говориться далее, приводят к выводу, что создание пушки с отдачей затвора требует решения задачи со многими неизвестными, которое может быть достигнуто лишь путем подбора отдельных конструктивных элементов, часто противоречащих друг другу и вызывающих необходимость в компромиссных решениях, что затрудняет получение заданных характеристик. Разумеется, конструктивных решений может быть очень много, и в итоге характеристики оружия определит какое-то частное решение.

О практическом применении различных конструктивных решений будет сказано ниже, в соответствующем разделе данной главы.

Смазка. Необходимость обеспечения достаточной смазки патронов повышенной мощности для систем, использующих импульс давления пороховых газов на затвор через гильзу, совершенно очевидна. Опыт

показывает, что без соответствующей смазки такие недостатки, как обрывы гильз, затрудненная экстракция, неотдача затвора и т. д., делают работу автоматики этих систем ненадежной.

При проектировании оружия необходимо всегда иметь в виду, что в эксплуатационных условиях можно столкнуться с обстоятельствами, которые крайне затрудняют стабильную смазку боеприпасов. Например, патроны и оружие, эксплуатируемые в арктических условиях или на самолетах, летающих на больших высотах, подвергаются действию крайне низких температур, при которых обычные смазки теряют свои свойства. Следует также помнить, что любая смазка на гильзах и на стенках патронника легко загрязняется, что, как правило, приводит к нарушению стабильности слоя смазки и, следовательно, правильности работы системы. Последнее особенно сказывается при отстреле оружия этого типа в полевых условиях.

Таким образом, конструктор, проектирующий автоматическую систему, основанную на принципе отдачи затвора, должен в первую очередь найти такую смазку для гильз, которая отвечала бы требованиям, приведенным выше, в том числе и требованиям эксплуатационного характера. Если такой смазки нет, принцип отдачи затвора для проектируемого оружия не пригоден и следует изыскивать другие конструктивные схемы, в которых фактор смазки не является столь важным.

Хотя термин смазка обычно связывается с каким-либо маслом или салом неорганического или органического происхождения, к смазочным веществам могут быть отнесены и многие другие материалы, так как к смазке для боеприпасов предъявляется единственное требование: она должна образовывать на поверхности гильзы слой, изолирующий гильзу от патронника, причем усилие смещения гильзы относительно патронника при наличии такой смазки не должно превышать в любых эксплуатационных условиях усилия, потребного для обрыва гильзы.

Очевидно, что такая смазка не обязательно должна быть вязкой и подобной по своим физическим свойствам смазкам обычного типа.

Теоретически можно представить себе самые разнообразные материалы, которые, казалось бы, могут служить смазкой для гильз, и поэтому многие считают, что проблема смазки не столь сложна. Однако, к сожалению, это не так. В течение более пятидесяти лет конструкторы-оружейники предлагали бесчисленное количество самых разнообразных материалов, обладавших, казалось бы, всеми требуемыми качествами такой смазки, в том числе различные воски, графитные смеси, самые различные жидкие составы и жесткие покрытия и многие другие вещества. Но испытания всех этих материалов и практика работы с ними показали их непригодность.

Лучшие результаты по устранению заклинивания гильз и тугой экстракции дало хромирование патронников, применение канавок Ревелли, а также патронников ступенчатой формы. Однако и эти мероприятия не дали желаемого эффекта.

Основной причиной всех этих неудач являлось то, что, стремясь избавиться от одного дефекта, вызывали появление другого.

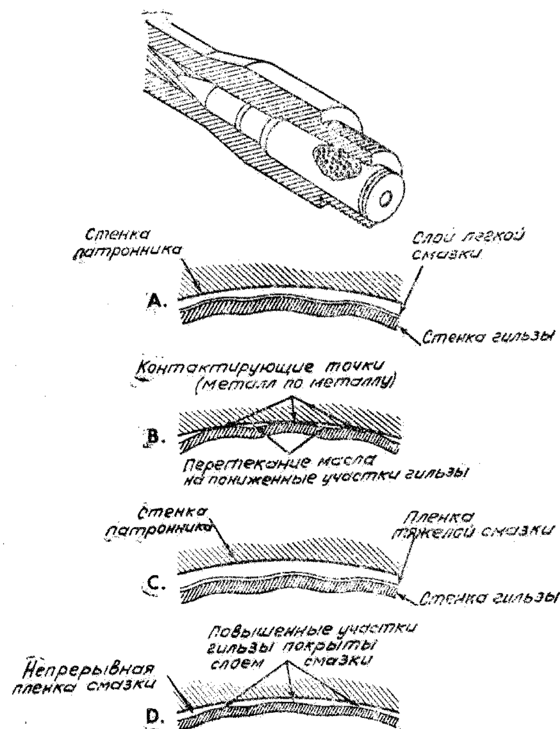
В результате тяжелые неорганические масла и смазки со всеми присущими им недостатками до сих пор остаются единственным средством для смазки гильз, дающим более или менее удовлетворительные результаты. Именно эти смазки обеспечивают получение на гильзе стабильного слоя смазки, изолирующего металл гильзы от металла патронника, причем во многих эксплуатационных условиях трудности применения таких смазок не слишком велики.

Следует отметить, что легкие масла, например машинное или веретенное, не являются хорошей смазкой для гильз. Хотя легкие масла способны образовывать на поверхности гильзы слой смазки, обладающий, так же как и слой более тяжелого масла, свойством несжимаемости и в силу этого обеспечивающий требуемую изоляцию, на практике установлено, что применение легкого масла не предохраняет от обрыва гильз. Это, очевидно, является следствием того, что легкие масла не способны образовывать слой достаточной толщины.

Как показано на фиг. 4, A, легкое масло действительно образует слой, покрывающий всю наружную поверхность гильзы, но поскольку эта поверхность не идеально ровная, когда гильза под давлением пороховых газов начинает выбирать диаметральный зазор, легкое масло стекает (фиг. 4, B) с более высоких мест на более низкие и, так как слой масла очень тонок, его становится недостаточно для того, чтобы полностью заполнить весь зазор. На более высоких местах, где масла не остается, образуются контактирующие поверхности, и металл гильзы соприкасается с металлом патронника.

Более тяжелое масло образует толстый слой и остается в достаточном количестве на всей поверхности гильзы, несмотря на то, что и оно перетекает с высоких мест на более низкие (фиг. 4, C и D).

Применение тяжелых масел имеет также и то преимущество, что в любом оружии воспламенение заряда вызывает образование пламени, которое может охватить наружную поверхность гильзы за тот весьма малый промежуток времени, который отделяет момент воспламенения от момента, когда давление пороховых газов изнутри вызывает раздутие дульца, обеспечивающее обтюрацию патронника. Это явление особенно заметно в том случае, когда ведущий поясок снаряда по диаметру больше дульца гильзы. При этом дульце должно испытать достаточно большую деформацию, прежде чем будет достигнута обтюрация патронника,



Фиг. 4. Эффект использования легких и тяжелых масел.

и, следовательно, время действия пламени порохового заряда будет несколько больше. Это пламя вызывает мгновенное обгорание или высушивание смазки, находящейся на гильзе. Легкие сорта масел особенно подвержены такому обгоранию. Смазки, состоящие из тяжелых масел, не только лучше противостоят обгоранию, но и создают своего рода обтюрацию в зоне дульца, препятствующую распространению пламени.

Смазка гильз для автоматических систем с отдачей затвора обязательна. Если толстый слой смазки нанесен на дульце гильзы, то обтюрация пороховых газов возникает не на поверхности гильзы, а передается гидравлически масляной пленкой. При этих условиях вся гильза начинает работать как поршень гидравлической системы, создавая силу, направленную назад и равную произведению давления пороховых газов на площадь поперечного сечения патронника по его наибольшему диаметру.

При использовании тяжелых смазок начальное усилие, стремящееся сдвинуть гильзу бутылочной формы назад, будет значительно больше, чем то же усилие при отсутствии смазки. Поэтому применение соответствующей смазки является обязательным условием для обеспечения стабильности работы автоматики.

Гильза. Во многих случаях при конструировании оружия конструктор обязан применять штатный образец патрона. В лучшем случае он может выбирать из нескольких состоящих на вооружении образцов. Сравнительно редко можно рассчитывать на отработку нового патрона, наиболее полно учитывающего специфические характеристики проектируемого оружия. Иными словами, конструктору оружия приходится приспособляться к существующим боеприпасам. Несмотря на это конструктор-оружейник обязан при подборе боеприпасов стремиться к изменению тех или иных характеристик патрона, с тем чтобы учесть специфику проектируемого образца оружия. Например, для оружия, использующего давление пороховых газов, передаваемое через гильзу, конструктор обязан для обеспечения работы автоматики подобрать патрон с вполне определенными характеристиками гильзы. Эти характеристики должны быть следующими:

1. Во избежание обрыва гильза должна быть предельно прочной. Для этого ее стенки в местах возможного обрыва должны быть утолщены. Такого же результата можно добиться, применяя для изготовления гильз более прочный материал.

В качестве примера можно привести полутвердую латунь, применяемую обычно для изготовления гильз. Этот материал имеет предельную прочность на разрыв, равную 35 *кг/мм*^{2}, тогда как другие материалы могут иметь в два-три раза большие прочностные характеристики.

2. На выбор материала для гильзы влияют также и другие факторы. Материал гильзы должен обладать хорошими упругими свойствами, с тем чтобы при нагрузке, т. е. под давлением пороховых газов, он получал бы минимальные остаточные деформации. Если материал гильзы обладает этими свойствами, то гильза после снятия нагрузки принимает исходные размеры и тем самым облегчает экстракцию. Кроме того, материал гильзы при внезапно прилагаемых нагрузках должен иметь предельно большое удельное удлинение, чтобы гильза могла растягиваться не обрываясь.

3. Для уменьшения возможной деформации гильзы форма ее должна быть почти цилиндрической, с минимальной бутылочностью.

4. Состояние наружной поверхности и размеры гильзы должны быть рассчитаны на то, чтобы свести до минимума сопротивления сил трения при сдвиге гильзы. Наружная поверхность гильзы должна быть гладкой, без царапин и неровностей, могущих вызвать нарушение пленки смазки или ухудшить условия стабильности нанесения смазки на поверхность гильзы.

Размеры гильзы должны быть минимальными, чтобы по возможности уменьшить суммарную площадь поверхности гильзы. В этом случае при заданном давлении пороховых газов силы трения при сдвиге гильзы будут наименьшими.

Рассмотрение приведенных требований показывает, что обеспечение одной из желаемых характеристик может затруднить получение других. Кроме того, стремление получить гильзу, идеальную с точки зрения ее пригодности для оружия, построенного на принципе отдачи затвора, может привести к усложнению ее изготовления или к ухудшению баллистических характеристик патрона в целом. Тем не менее, все эти характеристики требуют самого внимательного изучения и оценки при выборе патрона для проектируемого оружия. Выбор наиболее подходящей конструкции гильзы может в конечном итоге определить успех или неудачу при создании нового образца оружия.

II. ОБРАЗЦЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ СО СВОБОДНЫМ ИЛИ ЗАМЕДЛЕННЫМ ОТКАТОМ

Системы с отдачей затвора классифицируются как автоматические системы, в которых для работы механизмов используется энергия, получаемая от сдвига гильзы в момент, когда последняя выжимается из патронника под действием давления пороховых газов в канале ствола. Усилие, прилагаемое к гильзе, представляет собой суммарную реакцию усилия пороховых газов.

В одних образцах автоматического оружия вся энергия, необходимая для обеспечения цикла автоматики, получается за счет отдачи затвора, в других образцах лишь часть энергии получается за счет отдачи затвора, а остальная часть — от других источников. Во всяком случае отдача имеет место тогда, когда при наличии давления пороховых газов в канале ствола затвор оружия не заперт.

При отдаче затвора энергия, возникающая от давления пороховых газов, принимает форму кинетической энергии затвора. Основной проблемой при отработке оружия, основанного на принципе отдачи затвора, является создание механизма, обеспечивающего регулировку скорости затвора в допустимых для надежной работы автоматики пределах.

Имеется много методов управления скоростью отката затвора. Эти методы, примененные на различных образцах оружия, образуют то, что в комплексе принято называть автоматическими системами, основанными на принципе отдачи затвора.

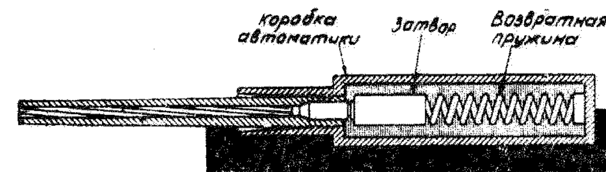
Ниже приводится анализ различных механизмов, регулирующих скорость отката затвора. Описание этих систем дано в последовательности, соответствующей операциям цикла автоматики. Этот анализ касается лишь работы механизмов и общих положений конструктивного характера.

§ 1. АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СО СВОБОДНОЙ ОТДАЧЕЙ ЗАТВОРА

Проще всего ознакомиться с вопросами, возникающими при регулировке скорости отката затвора в системах с так называемой свободной отдачей затвора. В этих системах отдача затвора обеспечивает весь цикл автоматики, а скорость перемещения гильзы ограничивается только инерцией затвора.

Ниже будет показано, что принцип свободной отдачи затвора неприменим для автоматических систем, рассчитанных на использование современных мощных крупнокалиберных патронов с высокими баллистическими характеристиками. Он рассматривается лишь потому, что позволяет легко проанализировать многие проблемы, возникающие при отработке других, более совершенных вариантов использования отдачи затвора.

Хотя конструктивное оформление механизмов оружия, построенного по этому принципу, может в значительной степени отличаться от схемы, изображенной на фиг. 5, тем не менее эта схема типична с точки зрения работы механизма в целом.



Фиг. 5. Упрощенная схема работы автоматической системы, построенной на принципе отдачи затвора.

Механизм состоит из затвора, подпирающего гильзу сзади и свободно скользящего в коробке автоматики, и из возвратной пружины, поглощающей кинетическую энергию затвора при его откате и возвращающей затвор в исходное положение перед очередным выстрелом.

Описание автоматического цикла

Автоматический цикл работы системы оружия, основанной на свободной отдаче затвора, является типичным для всех образцов оружия этого типа и протекает следующим образом. Цикл автоматики начинается с того момента, когда затвор воспламеняет капсюль патрона, находящегося в патроннике, и тем самым зажигает пороховой заряд. Пороховые газы выталкивают снаряд по каналу ствола и одновременно стремятся сместить назад гильзу, преодолевая сопротивление затвора. При этом единственным действительным сопротивлением, препятствующим неограниченному ускорению затвора, является инерция массы затвора.

Действие пороховых газов ограничено по времени. Для типичной 20-*мм* авиационной пушки с длиной ствола около 4,9 фута (1,5 *м*)

время прохождения снаряда по каналу ствола составляет примерно .0023 *сек.*, а остаточное давление пороховых газов действует на гильзу дополнительно еще в течение .008-.009 *сек.* Таким образом, затвор находится под действием сил, обеспечивающих ему положительное ускорение лишь в течение первых .008-.009 *сек.* после воспламенения капсюля. Затем давление пороховых газов становится равным атмосферному и сила, стремящаяся отбросить затвор назад, исчезает. Гильза и затвор продолжают двигаться назад по инерции. При откате затвора происходит извлечение гильзы из патронника и ее отражение из коробки автоматики. Затвор замедляет свое движение назад по мере поджатия возвратной пружины. Объединенное сопротивление возвратной пружины и буфера снижает скорость затвора в конце его хода до нуля. С этого момента вся кинетическая энергия затвора (за исключением известных потерь на экстракцию, отражение гильзы и трение) переходит в виде потенциальной энергии в возвратную пружину, которая начинает перемещать затвор вперед. При накате затвор взводит стреляющий механизм, снимает очередной патрон с механизма подачи патронов и досылает его в патронник. Перед тем как затвор достигает своего исходного переднего положения, потенциальная энергия, аккумулированная в возвратной пружине, переходит в кинетическую энергию затвора и очередного патрона (за исключением неизбежных потерь на подачу патрона, взведение стреляющего механизма и преодоления трения). При ударе затвора в переднем положении его кинетическая энергия тратится на деформацию материала затвора и его опоры. Как только затвор останавливается в переднем положении, происходит воспламенение очередного патрона, и цикл автоматики повторяется.

Анализ работы системы

При описании работы системы со свободной отдачей затвора отмечалось, что наиболее важным фактором, определяющим конструкцию оружия, построенного на этом принципе, является смещение гильзы в момент максимального давления пороховых газов. Необходимо остановиться на двух положениях, относящихся к этому смещению, которые налагают известные ограничения на конструкцию оружия такого типа.

1. При отсутствии смазки на гильзе высокое давление, развивающееся в начале сгорания порохового заряда, приводит к защемлению гильзы в патроннике. Обрыв гильзы в этом случае неизбежен, если движение затвора не будет должным образом ограничено, что предотвратит растяжение стенок гильзы вдоль оси ствола за допустимые пределы.

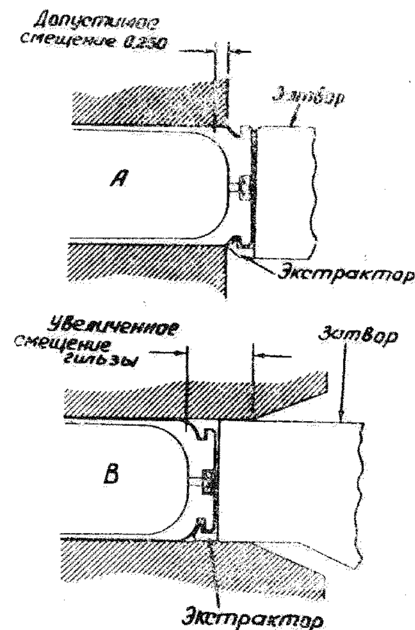
Точное определение допустимого растяжения гильзы требует сложного эксперимента для каждого образца гильзы. Для латунной гильзы под штатный 20-*мм* патрон допускается смещение затвора, не превышающее .015 дюйма (.38 *мм*), причем это смещение ограничено по времени .0015 *сек.* с момента воспламенения заряда. Другими словами, средняя скорость затвора в течение

этого промежутка времени не должна превышать 1 фута в секунду (.30 *м/сек.*), а максимальная—2 футов в секунду (.6 *м/сек*).

2. Если удастся избежать защемления гильзы в патроннике при помощи соответствующей смазки, то все равно гильза не должна выходить из патронника преждевременно, так как ее тонкие стенки могут лишиться необходимой опоры в тот момент, когда остаточное давление в канале ствола еще сравнительно велико. В противном случае может произойти раздутие или разрыв гильзы у основания.

Предельные значения оголения для каждой гильзы определяются экспериментально. Для гильзы штатного 20-*мм* патрона это смещение не должно превышать .4 дюйма (6,25 *мм*) в течение .01 *сек.* после воспламенения капсюля. К этому моменту остаточное давление будет равным или очень близким атмосферному и дальнейшее смещение гильзы может происходить безопасно. В течение этого периода средняя скорость затвора не должна превышать 2,25 фута в секунду (.68 *м/сек*).

Указанные ограничения касаются штатных гильз, вхождение которых в патронник ограничено положением, изображенным на фиг. 6, *А* и обусловленным необходимостью захода зуба экстрак-

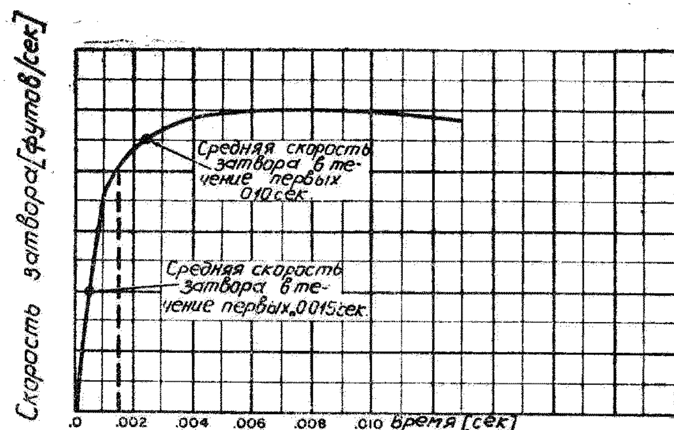


Фиг. 6. Гильзы специальной формы для систем, построенных на принципе отдачи затвора.

тора в проточку на гильзе. В случае применения специальной гильзы с соответствующей формой закраины (фиг. 6, *В*) патрон, очевидно, может быть опущен в патронник глубже и благодаря этому при смещении гильзы в момент выстрела допускается несколько большее перемещение затвора, ограниченное лишь выходом стенок гильзы за пределы патронника. Таким образом, скорость перемещения затвора в течение первых 10 миллисекунд после воспламенения заряда может быть несколько увеличена, но даже в этом случае следует помнить, что она остается сравнительно небольшой.

Примечания. Необходимо обратить внимание на два очень серьезных замечания, которые вытекают из следующего.

1. На фиг. 7 графически изображено изменение скорости затвора по времени для типичной системы со свободной отдачей затвора в течение первых 10 миллисекунд цикла. Форма кривой показывает, что скорость быстро растет в течение первых двух миллисекунд цикла, а затем, по мере падения давления пороховых газов, увеличение скорости замедляется. Необходимо отметить, что форма этой кривой закономерна для всех систем со свободной отдачей затвора,



Фиг. 7. График скорости затвора по времени в оружии, построенном на принципе свободной отдачи затвора.

хотя вертикальная шкала будет меняться в зависимости от конструктивных характеристик оружия. Если оружие спроектировано с расчетом гарантировать среднюю скорость затвора в течение первых .0015 *сек.* в пределах 1 фута в секунду (.3 *м/сек*), что удовлетворяет первому вышеупомянутому правилу, то графическим построением можно установить, что средняя скорость перемещения затвора в течение .010 *сек*. будет примерно равна 2,25 фута в секунду (.68 *м/сек*). Это и является верхним пределом величины скорости, допустимой для оружия в соответствии со вторым упомянутым правилом. Другими словами, применяя смазку патрона для устранения обрыва гильзы и тем самым стремясь уйти от ограничений, поставленных первым правилом, все же нельзя увеличить скорость затвора, так как это приводит к нарушению второго положения.

Поэтому для получения существенного преимущества от введения смазки на патронах в системах со свободной отдачей затвора, необходимо принять меры для увеличения средней скорости затвора сверх 2,25 фута в секунду в течение первых .010 *сек* . Как отмечалось выше, некоторые, правда, несущественные улучшения в этом направлении могут быть получены за счет применения гильз специальной формы, изображенных на фиг. 6, В.

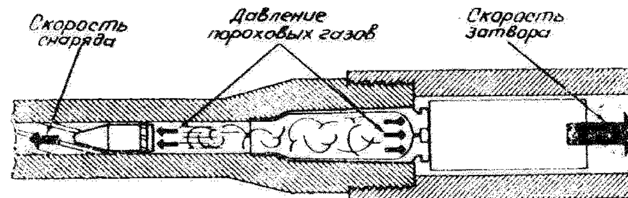
Так как результаты влияния обоих приведенных выше ограничений для гильзы одинаковы, то любое из них может быть положено в основу конструкции системы. В отношении смазки основным ограничением будет второе, и средняя скорость затвора, допустимая на первых 10 миллисекундах цикла, остается равной 2,25 фута в секунду, если только не будут проведены дополнительные специальные мероприятия для ее увеличения. В любом случае средняя скорость затвора остается ограниченной весьма малой величиной порядка 3 футов в секунду (1 *м/сек.*).

По форме кривой, изображенной на фиг. 7, можно убедиться, что даже максимальное значение скорости затвора лишь немногим превзойдет среднюю величину скорости.

2. Вторым важным выводом является то, что при таких низких скоростях затвора пушка под патрон современного типа с мощной баллистикой, построенная по принципу свободной отдачи затвора, никогда не сможет дать достаточно высокого темпа стрельбы. Чтобы доказать это, достаточно вспомнить, что для обеспечения досылки патрона затвор 20-*мм* пушки должен отойти назад по крайней мере на 10 дюймов (250 *мм*). Таким образом, при откате и накате затвор вынужден пройти не менее 20 дюймов (500 *мм*), если затвор совершает это движение со средней скоростью порядка двух футов в секунду (.6 *м/сек.*), то темп стрельбы ограничивается величиной 50-60 *выстр/мин*.

Помимо этого, при создании мощной пушки с использованием принципа свободной отдачи затвора возникают еще и другие трудности, перечисленные несколько ниже. На первый взгляд может показаться, что такой тщательный анализ практически трудно реализуемой системы беспредметен. Однако, хотя условия анализа и были преднамеренно заданы более жесткими, он совершенно необходим для освещения основных положений, связанных с использованием принципа отдачи затвора, и для изучения других форм автоматических систем, использующих принцип отдачи затвора.

На фиг. 8 графически показаны условия работы оружия, построенного на принципе отдачи затвора, через 1-2 миллисекунды после воспламенения заряда. Давление пороховых газов вызывает перемещение снаряда вперед и одновременно стремится сдвинуть назад гильзу и затвор. В этот момент давление в патроннике равно примерно 45000 фунтов на 1 кв. дюйм (3160 *кг/см²*), а усилие, действующее на снаряд и гильзу, близко к 22000 фунтов (9900 *кг*) для штатного 20-*мм* патрона.



Фиг. 8. Распределение скоростей подвижных масс в оружии с отдачей затвора.

На сообщение снаряду и гильзе с затвором продольной составляющей скорости расходуется только часть усилия, действующего на них. Другая часть расходуется на преодоление сил трения снаряда о нарезы, на сообщение снаряду вращательного движения, на преодоление сил трения гильзы в патроннике и затвора в направляющих ствольной коробки, а также на преодоление сопротивления возвратной пружины.

Максимальная величина этих потерь достигает 8-10%. Таким образом, оставшееся усилие целиком используется для ускорения масс снаряда и затвора. Иными словами, единственным значительным фактором, определяющим смещение этих масс, является инерция снаряда и затвора с гильзой. Поэтому с целью упрощения анализа целесообразно отбросить потери на трение, на вращение снаряда и на сопротивление возвратной пружины.

Часто в описаниях систем с отдачей затвора обращается внимание на то, что возвратная пружина имеет существенное значение, поскольку она, якобы, оказывает сопротивление, которое влияет на ускорение затвора, движущегося под действием пороховых газов. Фактически это далеко не так. Хотя возвратная пружина действительно поглощает кинетическую энергию откатывающегося затвора и тем самым ограничивает величину его перемещения, тем не менее сопротивление пружины не играет существенной роли в первой фазе цикла автоматики.

Ускорение затвора обеспечивается давлением на него пороховых газов, исчисляемым в тысячах килограммов. Возвратная пружина, естественно, не может быть выполнена с такими усилиями, хотя бы из условий нормальной подачи патрона. Сопротивления пружины достаточно лишь для поглощения энергии затвора на сравнительно большом ходе последнего, но слишком мало, чтобы оказать какое-то влияние на скорость затвора до тех пор, пока не понизится давление в канале ствола, т. е. почти до конца периода последействия.

Предположим, что затвор имеет такой же вес, как и снаряд, и посмотрим, что произойдет во время выстрела, если гильза не разорвется. В этом случае затвор получает примерно ту же скорость, что и снаряд, но только обратного знака. Очевидно, гильза длиной 4 дюйма (100 *мм*) будет полностью выброшена из патронника, как только снаряд пройдет путь в 4 дюйма по каналу ствола и раскаленные пороховые газы при давлении порядка 42500 фунтов на 1 кв. дюйм (3000 *кг/см*^{2}) прорвутся в ствольную коробку. Если предположить, что газы не вызовут разрушения коробки, то затвор, перемещающийся со скоростью, близкой к скорости снаряда, вызовет полное разрушение оружия. Увеличивая вес затвора, мы можем снизить его скорость. Но, как уже отмечалось выше, во избежание обрыва гильзы скорость затвора должна быть резко снижена, т. е. мы опять возвращаемся к максимальному темпу стрельбы, определенному в пределах 50-60 ***выстр/мин.***

Нет необходимости описывать метод определения веса затвора, удовлетворяющего этим условиям. Достаточно сказать, что этот вес должен быть не менее 500 фунтов (226 *кг*). Очевидно, что такой затвор практически непригоден для любой 20-*мм* пушки. Часто приходится слышать, что можно создать 20-*мм* пушку, основанную на принципе свободной отдачи затвора, если в тактико-технических требованиях не будет возражений против чрезмерного веса затвора и относительно малого темпа стрельбы. Все сказанное выше подтверждает полную несостоятельность такой идеи. Более того, едва ли подобная пушка вообще сможет обеспечить ведение автоматического огня. Допустим, например, что начальная скорость затвора весом в 500 фунтов равна 2,5 футов в секунду (.75 *м/сек*). Тогда энергия, воспринимаемая затвором, будет равна 50 фут.фунт (7,5 *кгм*). Очевидно, что этой энергии недостаточно для приведения в действие механизма обычной штатной 20-*мм* пушки. Иными словами, чем тяжелее затвор, тем меньше энергии получает он от пороховых газов, и при очень тяжелом затворе автоматика пушки может отказать из-за недостаточного баланса энергии. Такая пушка не будет работать и потому, что возвратная пружина для нее должна быть очень слабой, рассчитанной на поглощение энергии 50 фунт.фут на расстоянии 10 дюймов (250 *мм*), необходимом для подачи 20-*мм* патрона. Среднее усилие такой пружины, по-видимому, не может превысить 60 фунтов (27 *кг*). Такая пружина не сдвинет с места затвор весом 500 фунтов. Сомнительно даже, сможет ли она обеспечить работу механизма подачи и других исполнительных механизмов пушки. При стрельбе же под небольшим углом возвышения можно ожидать самопроизвольного отката затвора задолго до выстрела.

Подводя итоги проведенному анализу, можно сказать следующее:

1. Скорость затвора должна быть ограничена весьма малой величиной во избежание возможного обрыва или раздутия гильзы.

2. Смазка патронов не дает возможности значительно увеличить скорость затвора.

3. Вес затвора с целью получения допустимой скорости отката должен быть увеличен настолько, что исключается возможность его практического применения.

4. Темп стрельбы образца так мал, что нельзя говорить о практическом применении оружия.

5. Возвратная пружина не является решающим фактором в ограничении скорости движения затвора.

6. Затвор пушки со свободной отдачей затвора является ведущим звеном автоматики и использует энергию, непосредственно передаваемую ему пороховыми газами. Тяжелый затвор и малая скорострельность системы с отдачей затвора не обеспечивают достаточный энергетический баланс оружия, необходимый для надежной работы автоматики.

7. Одним из многих недостатков системы является слабая возвратная пружина, не обеспечивающая нормальную работу механизмов пушки.

Все сказанное объясняет, почему до сих пор нет автоматической системы с отдачей затвора, использующей мощные современные патроны.

Математический анализ системы

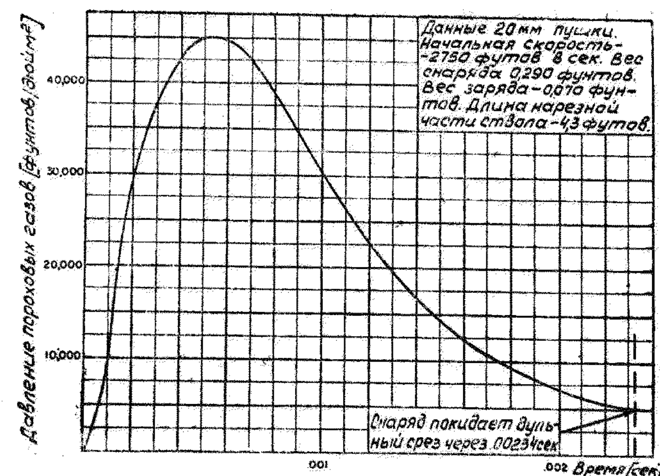
Ниже приводится методика математического исследования автоматической системы со свободной отдачей затвора. В основном эта методика соответствует существующей методике общего инженерного исследования оружия и, в частности, артиллерийских систем. Приведенные методы изучения отличаются от общепринятых лишь некоторыми изменениями и дополнениями, введенными для учета специфических особенностей конструкции оружия со свободной отдачей затвора. Нужно подчеркнуть, что в основу этого анализа положено стремление разработать такую методику расчета, которая позволила бы определить массу затвора, необходимую для нормальной работы автоматики, и дала бы возможность, используя полученные величины, в первом приближении установить геометрические размеры и характеристики возвратной пружины, темп стрельбы, характеристики движения затвора и другие интересующие конструктора сведения.

Анализу не будут подвергнуты методы конструирования, в результате которых устанавливают требуемую геометрическую форму затвора. Точно так же не будут приведены детальные расчеты по определению сопротивления трения или затрат энергии, идущих на приведение в действие таких вспомогательных механизмов, как механизм подачи, стреляющий механизм или механизм отражения. Эти расчеты опускаются, так как результаты их слишком мало влияют на решение основного вопроса — определение массы затвора, хотя они и влияют на результаты расчета темпа стрельбы и характер движения затвора. Во всяком случае такие, более детализированные, расчеты следует учитывать лишь на окончательных стадиях проектирования, когда основные конструктивные черты автоматической системы могут уже считаться более или менее установленными. Тогда, в случае необходимости, предварительные расчеты могут быть подвергнуты изменению.

Приводимый ниже анализ основан на допущении, что при проектировании образца был применен конкретный патрон с известными характеристиками и что требуемая начальная скорость и длина ствола установлены ранее. Кроме того, предполагается, что известны все элементы внутренней баллистики и что у расчетчика есть графики, иллюстрирующие изменение давления пороховых газов, скорости и пути снаряда в канале ствола во времени (фиг. 9, 10 и 11)*.

Методика анализа иллюстрируется сравнительно простыми расчетами. Хотя эти примерные расчеты и графики относятся к конкретному 20-*мм* патрону и стволу, методика расчета применима к оружию любого калибра.

*При решении некоторых проектных задач перечисленные выше данные могут частично или полностью отсутствовать. В этом случае аналитические методы, при помощи которых можно установить требуемые для расчета величины и построить необходимые графики, заимствуются из соответствующих руководств по внутренней баллистике.



Фиг. 9. График давления пороховых газов в канале ствола.

Характеристики 20-мм штатного патрона

Начальная скорость снаряда в футах в секунду	2750 (840 *м/сек*)
Длина нарезной части ствола в футах	4,25 (1300 *мм*)
Вес снаряда в фунтах	0,29 (132 *г*)
Вес заряда в фунтах	0,07 (32 *г*)
Максимальное давление пороховых газов в фунтах на 1 кв. дюйм.	45000 (3160 *кг/см²*)
Дульное давление пороховых газов в фунтах на 1 кв. дюйм	5000 (530 *кг/см²*)
Время движения снаряда до дульного момента, *сек*.	$2{,}34 \cdot 10^{-3}$

Ниже приведены расчеты следующих основных величин:

1. Веса затвора, обеспечивающего снижение скорости отката затвора до безопасной величины.

2. Характеристик, необходимых для проектирования возвратной пружины, при величине отката затвора, обеспечивающей подачу патрона.

3. Темпа стрельбы.

4. Расчетной велограммы скорости и пути затвора по времени.

5. Энергетического баланса затвора.

В процессе этих расчетов устанавливаются следующие выражения, связывающие определенные физические величины:

1. Уравнение количества движения в период нахождения снаряда в канале ствола.

2. Выражение, определяющее количество движения и скорость свободного отката.

3. Зависимость для определения времени действия остаточного давления.

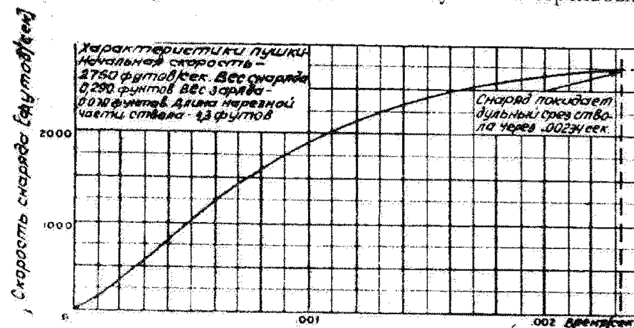
4. Формула, определяющая начальную энергию затвора.

5. Зависимости, определяющие замедление движения затвора под действием возвратной пружины.

6. Уравнение энергии для затвора и для возвратной пружины.

7. Формула, определяющая время отката.

8. Выражение, устанавливающее величину темпа стрельбы.



Фиг. 10. График скорости снаряда в канале ствола.

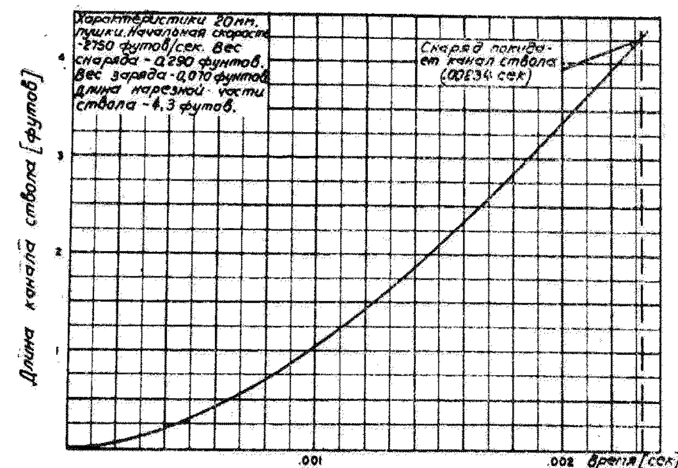
1. Определение веса затвора

При воспламенении порохового заряда снаряд и пороховые газы устремляются вперед, а затвор начинает отходить назад. Поскольку лишь очень малая часть импульса газов расходуется на преодоление сил трения и других сопротивлений, можно допустить, совершая незначительную ошибку, что количество движения затвора и гильзы в любой отрезок времени равно суммарному количеству движения снаряда и пороховых газов. Допустим также, что центр тяжести массы пороховых газов движется по каналу ствола со скоростью, в два раза меньшей чем скорость снаряда. Тогда равенство количества движения может быть записано в виде

$$M_r v_{r_f} = M_p v_p + M_c \frac{v_p}{2} = \left(M_p + \frac{M_c}{2}\right) v_p$$

Индекс f обозначает скорость свободного отката затвора.

Таким образом для данного периода работы принимается допущение, что затвор в своем движении назад не тормозится ни силами трения,



Фиг. 11. График пути снаряда в канале ствола

ни сопротивлением возвратной пружины. Это допущение не вводит в расчет каких-либо грубых ошибок, поскольку оно действительно только для периода действия на затвор пороховых газов. Силы, стремящиеся в этот период удержать затвор, неизмеримо меньше силы давления пороховых газов.

Обозначения, используемые при математическом анализе

A — площадь поперечного сечения канала ствола (дюйм², см²).
C — произвольная постоянная интегрирования.
D — путь отката затвора (фут, см).
d — путь отката затвора в течение времени t (фут, см).
E — начальная энергия затвора (фунт.фут, кг.см).
F_{av} — среднее усилие возвратной пружины на пути D (фунт, кг).
F_0 — предварительное усилие возвратной пружины (фунт, кг).
g — ускорение силы тяжести (фут/сек², м/сек²).
K — жесткость пружины (фунт/фут, кг/см).
M_c — масса порохового заряда (фунт.сек²/фут, кг.сек²/м).
M_p — масса снаряда (фунт.сек²/фут, кг.сек²/м).
M_r — масса затвора (откатные части) (фунт/сек²/фут, кг.сек²/м).
P — дульное давление (фунт/дюйм², кг/см²).
T — время отката затвора (сек).
t — текущее время (сек).
T_{res} — время действия остаточного давления (сек).
V_p — начальная скорость снаряда (фут/сек, м/сек).
v_p — скорость снаряда в канале ствола к моменту t (фут/сек, м/сек).
v_r — скорость замедленного отката к моменту t (фут/сек, м/сек).

V_{r_f} — максимальная скорость свободного отката (фут/сек, м/сек).

v_{r_f} — скорость свободного отката к моменту t (фут/сек, м/сек).

$v_{r_{f(all)}}$ — допустимая средняя скорость отката (фут/сек, м/сек).

W_c — вес порохового заряда (фунт, кг).

W_p — вес снаряда (фунт, кг).

W_r — вес затвора (откатные части) (фунт, кг).

Уравнение (1.1) может быть использовано для построения графика количества движения затвора по времени на отрезке пути, соответствующем нахождению снаряда в канале ствола. Вес снаряда и порохового заряда известен. По графику, приведенному на фиг. 10, можно установить скорость снаряда в любое заданное время. Поэтому ордината кривой количества движения затвора по времени в любой момент времени t может быть определена путем умножения соответствующей по времени ординаты кривой скорости снаряда на выражение

$$M_p + \frac{M_c}{2}$$

Для 20-*мм* патрона из кривой, изображенной на фиг. 10, имеем:

$$M_p + \frac{M_c}{2} = \frac{1}{g}\left(W_p + \frac{W_c}{2}\right) = \frac{1}{32.2}\left(.29 + \frac{.070}{2}\right) = .0101$$

Таким образом, прежде чем снаряд покинет канал ствола, количество движения затвора будет равно

$$M_r\, v_{r_f} = .0101\ v_p \text{ (фунт.сек)}$$

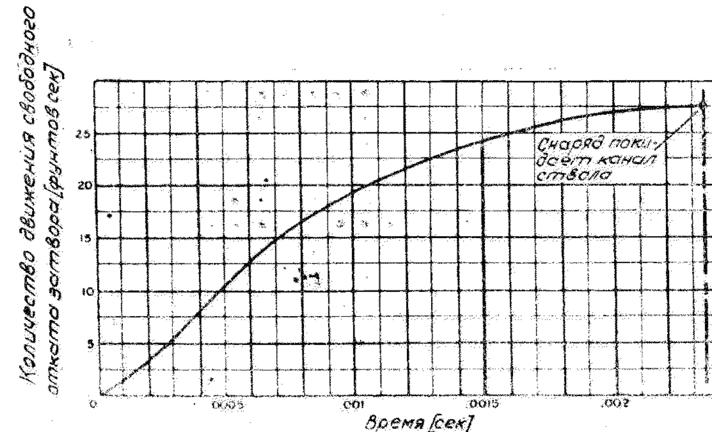
График, полученный при помощи этого уравнения, приведен на фиг. 12. Тот же график на фиг. 13 приведен в виде части кривой в интервале времени от $t = 0$ до $t = .00234$ *сек*.

Уравнение количества движения, выражающее состояние подвижных частей в период последействия, не может быть сформулировано достаточно просто*. Для продолжения графика, рассчитанного согласно уравнению (1.1), можно воспользоваться специальной методикой. Для

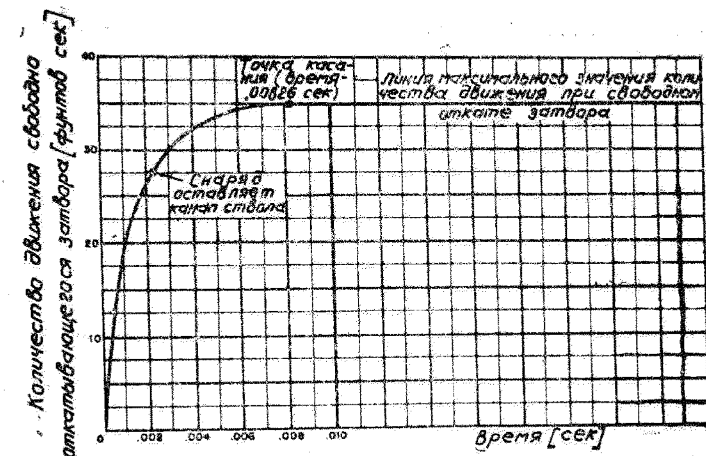
*Методика определения импульса давления пороховых газов в нашей литературе разработана гораздо шире. Так, например, в книге М. А. Мамонтова «Некоторые случаи истечения газа» изложена методика, позволяющая определить не только величину импульса давления, но и дать закон изменения импульса давления во времени, указать основные факторы, влияющие на процесс истечения, и оценить их влияние. Применение методики в инженерных расчетах затруднений не вызывает. (Прим. редактора).

этого запишем уравнение количества движения затвора при свободном откате:

$$M_r V_{r_f} = M_r V_r + 4700\ M_c \qquad (1.2)$$



Фиг. 12. График количества движения свободного отката затвора.



Фиг. 13. График количества движения свободно откатывающегося затвора в течение первых 10 миллисекунд после воспламенения капсюля.

Это уравнение является эмпирическим выражением, основанным на экспериментальном отстреле различных образцов автоматического оружия. Достаточно сказать, что суммарная величина количества движения, сообщенного подвижным частям, равна сумме дульного количества движения снаряда и количества движения пороховых газов, если допустить, что пороховые газы покидают канал ствола со средней скоростью 4700 футов в секунду (1400 *м/сек*). Для данного случая эта величина

$$M_r V_r = \frac{.29}{32.2} 2750 + 4700 \frac{.070}{32.2} = 35 \text{ фунт.сек } (15{,}8 \text{ кг.сек})$$

Кривая, представляющая значение количества движения затвора при свободном откате за пиродинамический период, наносится на график суммарного количества движения затвора (фиг. 13) и экстраполируется до положения касательной. Точка, в которой кривая касается линии максимального количества движения, обозначает время, при котором остаточное давление в канале ствола становится равным атмосферному и поэтому более не влияет на изменение количества движения затвора. Хотя ошибка в определении точки касания не требует серьезных поправок к расчету, тем не менее можно более точно найти ее местоположение по формуле Валье, устанавливающей время действия остаточного давления:

$$T_{res} = \frac{M_c}{AP}(9400 - V_p) \qquad (1.3)$$

Для выбранного нами примера (патрон и ствол калибра 20-*мм*)

$$T_{res} = \frac{.070}{32.2 \cdot \frac{\pi}{4}(.790)^2 \cdot 5000}(9400 - 2750) = .00592 \text{ сек.}$$

Для определения полного времени действия пороховых газов это значение прибавляется к времени движения снаряда до дульного среза ствола

$$T_{res} = .00234 + .00592 = .00826 \text{ сек.}$$

Полученный график может быть непосредственно использован для определения веса затвора, ограничивающего его скорость допустимой величиной в течение определенного промежутка времени. Интегрируя график при произвольной величине интервала интегрирования и деля полученный результат на величину этого интервала, определяем среднее значение количества движения для данного отрезка времени. Разделив среднее значение количества движения на допустимую среднюю скорость затвора для принятого интервала времени, получаем величину требуемой массы затвора:

$$M_r = \frac{\int_{t_1}^{t_2} (M_r v_{r_f})\, dt}{(t_2 - t_1) v_{r_{f(all)}}} \qquad (1.4)$$

Наиболее простым методом определения интеграла в уравнении (1.4) является измерение находящейся под кривой площади при помощи так называемого правила трапеции. Можно также воспользоваться каким-либо иным методом приближенного интегрирования, например, методом Симпсона.

Допустим, что гильза не смазана. Как было сказано выше, во избежание обрыва гильзы средняя скорость затвора в первые 1,5 миллисекунды цикла не должна превышать 1 фута в секунду (.3 *м/сек*). Интегрирование площади, ограниченной графиком и ординатами $t = 0$ и $t = .0015$ *сек.*, дает суммарное значение, равное .02298 фут.сек² (.0104 *кг.сек²*) (см. фиг. 12). Применяя для определения M_r уравнение (1.4), получим:

$$M_r = \frac{.02298}{.0015 \cdot 1} = 15.32 \text{ фунт.сек}^2/\text{фут } (23{,}2 \text{ кг.сек}^2/\text{м}).$$

Таким образом, требуемый вес затвора

$$W_r = gM_r = 15.32 \cdot 32.2 = 493 \text{ фунт } (228 \text{ кг}).$$

Допустим теперь, что гильза смазана. Ранее отмечалось, что если принять форму гильзы такой, какая показана на фиг 6, А, то средняя скорость затвора, во избежание раздутия смазанной гильзы у донца, в течение первых 10 миллисекунд цикла должна быть ограничена величиной 2.00 фут/сек. (.6 *м/сек*). Принимая это ограничение и интегрируя площадь, находящуюся под кривой (фиг. 13), в пределах от $t = 0$ до $t = .010$ *сек.*, получаем общую площадь, равную .305 фунт.сек² (.138 *кг/сек²*). Применяя уравнение (1.4), определяем

$$M_r = \frac{.305}{.010 \cdot 2} = 15.25 \text{ фунт.сек}^2/\text{фут } (23 \text{ кг.сек}^2/\text{м})$$

Таким образом, требуемый вес затвора

$$W_r = gM_r = 15.25 \cdot 32.2 = 492 \text{ фунт } (227 \text{ кг})$$

Следует обратить внимание на то, что найденный при этом вес затвора почти точно равен весу затвора, определенному исходя из первого ограничения. Ранее указывалось, что вес затвора может быть несколько уменьшен с помощью специальных методов. Например, за счет применения гильз специальной формы в течение первых 10 миллисекунд цикла можно повысить скорость затвора до величины, несколько большей

2 фут/сек. (.6 *м/сек.*). Однако этот случай рассматриваться нами не будет и при последующем анализе мы будем принимать вес затвора равным 500 фунтов (227 *кг*).

2. Определение характеристик возвратной пружины

Уравнение (1.2) для количества движения свободного отката записывается следующим образом:

$$M_r V_{r_f} = M_p V_p + 4700\, M_c$$

Решая это уравнение относительно V_{r_f}, получаем максимальную скорость свободного отката:

$$V_{r_f} = \frac{M_p V_p + 4700\, M_c}{M_r} = \frac{W_p V_p + 4700\, W_c}{W_r} \qquad (1.5)$$

При заданных условиях для затвора весом 500 фунтов имеем

$$V_{r_f} = \frac{.29 \cdot 2750 + 4700 \cdot .070}{500} = 2{,}25 \text{ фут/сек } (.66 \text{ м/сек.})$$

Поскольку суммарное ускорение затвора происходит менее чем за 10 миллисекунд, а его торможение, вызываемое действием возвратной пружины, незначительно, допускаем, что начальная скорость затвора равна максимальной скорости свободного отката, определяемой по формуле (1.5).

Начальное значение энергии затвора

$$E_r = \frac{1}{2} M_r V_{r_f}^2 = \frac{W_r V_{r_f}^2}{2g} \text{ (фунт.фут)} \qquad (1.6)$$

Подставляя цифровые данные нашего примера, получаем величину начальной энергии затвора

$$E_r = \frac{500 \cdot 2.25^2}{2 \cdot 32.2} = 39.4 \text{ фунт.фут } (5{,}36 \text{ кг.м})$$

Иными словами, можно считать, что затвор начинает сжимать возвратную пружину с начальной энергией равной 39.4 фунт.фут (5,36 *кгм*). Следовательно, размеры пружины должны быть подобраны с таким расчетом, чтобы поглотить это количество энергии на пути отката затвора. Если F_{av} — среднее значение усилия поджатия пружины, то выражение энергии затвора можно будет записать в следующем виде:

$$E_r = F_{av} D \text{ или } F_{av} = \frac{E_r}{D} \qquad (1.7)$$

Если допустить, что для обеспечения подачи очередного патрона затвор должен пройти путь равный 10 дюймам (250 *мм*), то среднее усилие поджатия пружины

$$F_{av} = \frac{39.4 \text{ фунт.фут}}{10 \text{ дюйм}} = 47.2 \text{ фунт } (21{,}4 \text{ кг})$$

Следует отметить, что трение между затвором и его направляющими в коробке автоматики создает довольно значительное тормозящее усилие. Если ожидают, что это усилие будет значительно, его нужно определить, уменьшив на эту величину среднее усилие пружины. Однако, как было условлено ранее, мы пренебрегаем этим усилием.

Зная среднее усилие поджатия пружины, нам остается только выбрать характеристики пружины с таким расчетом, чтобы обеспечить получение этого усилия при условии полного поджатия пружины в конце пути отката. В качестве исходной величины выбираем усилие начального поджатия пружины и ее жесткость. Например, если взять предварительное усилие поджатия 17,2 фунта (7,8 *кг*), то при среднем усилии поджатия 47,2 фунта (21,4 *кг*) мы получаем максимальное усилие поджатия, равное 77,2 фунта (34,8 *кг*). Поскольку разность между максимальным и начальным усилиями поджатия пружины составляет 60 фунтов (27 *кг*), а величина рабочего поджатия, равная ходу затвора, достигает 10 дюймов (250 *мм*), то жесткость пружины будет равна 72 фунт/фут (1,08 *кг/см*). Можно также взять любые другие комбинации жесткости пружины и усилий поджатия, лишь бы они в конечном итоге обеспечивали получение среднего усилия поджатия, равного 47,2 фунта.

В действительности определение характеристик и конструирование возвратной пружины для автоматического оружия является сравнительно сложной проблемой и не решается так просто, как в нашем примере. При проектировании пружины необходимо предусматривать возможные ударные нагрузки, продольные вибрации пружины и пр., которые могут вызвать совершенно непредвиденные трудности эксплуатации и даже поломку пружины до конца гарантийной живучести. Поэтому проектирование пружин для таких быстродвижущихся механизмов, как элементы автоматики оружия, является специализированной отраслью в конструировании машин и механизмов. При проектировании пружин применяются специальные методы математического анализа, и нередки случаи, когда удачные конструкции получаются только в результате тщательного экспериментирования. Кроме того, выбор предварительного усилия поджатия и жесткости пружины может оказать, как мы увидим позднее, существенное влияние на темп стрельбы.

Хотя эти факторы должны, безусловно, учитываться при проектировании, мы допускаем, что произвольно выбранные нами величины предварительного поджатия и жесткости пружины обеспечат ее удовлетворительную работу.

Нами определены характеристики возвратной пружины и требуемый вес затвора, причем расчет был проведен в соответствии с требованием ограничения скорости смещения затвора и обеспечения его перемещения, необходимого для подачи очередного патрона. Теперь нам остается установить тактико-технические характеристики, которые могут быть достигнуты при работе автоматики, т. е. величину темпа.

Очевидно, оружие, имеющее тяжелый затвор и слабую возвратную пружину, практически непригодно. Единственный способ улучшения его конструкции заключается в увеличении средней скорости затвора. Нас сейчас не интересует, возможно ли это увеличение и как оно может быть обеспечено. Цель настоящего анализа — разработка методики расчета автоматической системы со свободной отдачей затвора, и эта методика будет установлена нами независимо от допустимой скорости затвора.

3. Вывод уравнений движения затвора

Зная вес затвора и характеристики возвратной пружины, можно приступить к определению параметров движения частей автоматики и времени цикла. Первым шагом в этом направлении является вывод уравнений, определяющих характер движения затвора. Эти выводы основаны на том, что при движении затвора в откат возвратная пружина аккумулирует кинетическую энергию затвора. Если мы допустим, что потери энергии затвора на трение незначительны, то энергия затвора в каждый момент его отката будет выражаться уравнением

$$\frac{M_r v_r^2}{2} = E_r - \int_0^d (F_0 + Kd)\, dd = E_r - \left(F_0 d + \frac{Kd^2}{2}\right) \qquad (1.8)$$

Это выражение может быть использовано для определения времени движения затвора. Решая уравнение относительно v_r, получаем

$$v_r = \sqrt{\frac{2E_r}{M_r} - \frac{2F_0}{M_r} d - \frac{K}{M_r} d^2} = \frac{dd}{dt}$$

откуда

$$dt = \frac{dd}{\sqrt{\frac{2E_r}{M_r} - \frac{2F_0}{M_r} d - \frac{K}{M_r} d^2}}$$

Вводя обозначения

$$a = \frac{K}{M_r}$$

$$b = \frac{2F_0}{M_r}$$

$$c = \frac{2F_r}{M_r},$$

приводим уравнение к виду

$$t = \int \frac{dd}{\sqrt{a}\sqrt{\frac{4ac + b^2}{4a^2} - \left(d + \frac{1}{2}\frac{b}{a}\right)^2}}.$$

Произведя интегрирование, получаем

$$t = \sqrt{\frac{M_r}{K}} \arcsin \frac{Kd + F_0}{\sqrt{F_0^2 + 2KE_r}} + C$$

В конце движения отката энергия, аккумулированная возвратной пружиной, равна начальной энергии затвора:

$$E_r = F_0 D + \frac{KD^2}{2}$$

Следовательно,

$$F_0^2 + 2KE_r = F_0^2 + 2K\left(F_0 D + \frac{KD^2}{2}\right) = \left(F_0 + KD\right)^2 +$$

Подставляя это значение в уравнение для времени t, получаем:

$$t = \sqrt{\frac{M_r}{K}} \arcsin \frac{Kd + F_0}{KD + F_0} + C$$

Определяем C. При $t = 0$ и $d = 0$

$$C = -\sqrt{\frac{M_r}{K}} \arcsin \frac{F_0}{KD + F_0}$$

Подставляя в уравнение полученное значение C, определяем время t отката затвора на расстояние d:

$$t = \sqrt{\frac{M_r}{K}} \left(\arcsin \frac{Kd + F_0}{KD + F_0} - \arcsin \frac{F_0}{KD + F_0}\right) \qquad (1.9)$$

Решая это уравнение относительно d, можно получить соотношение, выражающее зависимость между t и d

$$d = \frac{KD + F_0}{K} \sin \left(\sqrt{\frac{K}{M_r}}\, t + \arc \sin \frac{F_0}{KD + F_0} \right) - \frac{F_0}{K} \qquad (1.10)$$

По уравнению (1.9) можно определить полное время T отката затвора. Заменяя d через D получаем:

$$T = \sqrt{\frac{M_r}{K}} \left(\arc \sin 1 - \arc \sin \frac{F_0}{KD + F_0} \right) =$$

$$= \sqrt{\frac{M_r}{K}} \left(\frac{\pi}{2} - \arc \sin \frac{F_0}{KD + F_0} \right)$$

$$T = \sqrt{\frac{M_r}{K}} \arc \cos \frac{F_0}{KD + F_0} \qquad (1.11)$$

При допущении, что потери незначительны (как мы знаем, это нереально), время отката равно времени наката, т. е. время полного цикла равно 2T. Поэтому темп стрельбы

$$N = \frac{60}{2T} = \frac{30}{T}$$

$$N = \frac{30 \sqrt{\frac{K}{M_r}}}{\arc \cos \frac{F_0}{KD + F_0}} \qquad (1.12)$$

Определяя величину N для условий нашего примера, получаем

$$N = \frac{30 \sqrt{\frac{72 \cdot 32.2}{500}}}{\arc \cos \frac{17.2}{72 \cdot .833 + 17.2}} = 48 \text{ в/мин.}$$

При известном темпе стрельбы и энергии затвора находим мощность HP, потребляемую затвором, по формуле

$$HP = \frac{E_r N}{33.00} \qquad (1.13)$$

Подставляя известные величины, получаем

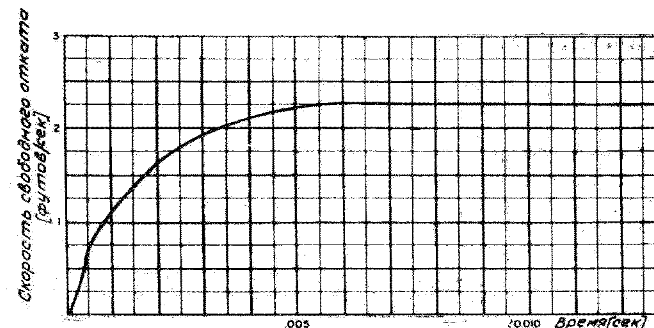
$$HP = \frac{39.4 \cdot 48}{33.00} = .0573 \text{ л. с.}$$

Полученная мощность явно недостаточна для приведения в действие всех механизмов автоматики.

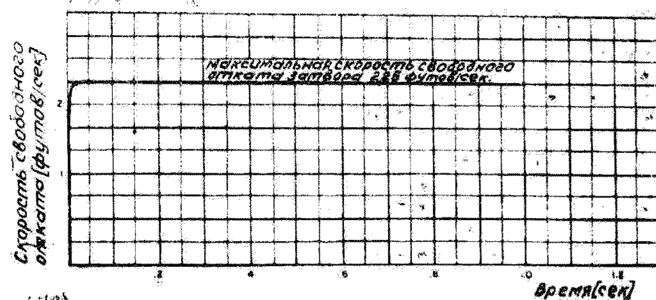
4. Построение расчетных графиков пути и скорости затвора по времени

Построение графиков, иллюстрирующих путь затвора и его скорость в зависимости от времени, необходимо для оценки характеристик автоматической системы в процессе ее проектирования. Кроме того, такие графики облегчают получение данных, необходимых при проектировании механизмов подачи, отражения, воспламенения и других вспомогательных механизмов. Для составления этих графиков используются зависимости, приведенные в предыдущем разделе. Однако необходимо помнить, что указанные зависимости выведены при допущении, что начальная энергия затвора была получена им мгновенно и что при этом не учитывалось время действия давления пороховых газов.

Для оружия, обладающего низким темпом стрельбы, вполне допустимо не принимать во внимание время действия газов. Для скорострельного оружия условия резко изменяются, так как давление пороховых газов по времени действует в течение значительной части цикла автоматики. Поэтому при построении графиков, характеризующих движение затвора, желательно учитывать также и действие пороховых газов. Поскольку это действие учитывается слишком сложным путем, для построения графиков применяется специальная методика, заключающаяся в том, что на график наносится кривая скорости свободного отката затвора, а затем из каждой ординаты кривой вычитается потеря скорости, вызываемая сопротивлением пружины. Кривая скорости свободного отката затвора определяется непосредственно по кривой количества движения затвора в свободном откате (см. фиг. 12 и 13) путем деления ординат кривой количества движения на величину массы затвора. Ре-



Фиг. 14. График скорости свободного отката по времени.



Фиг. 15. Скорость свободного отката по времени (0-1,0).

зультирующие кривые показаны на фиг. 14 и 15. Чтобы установить тормозящее действие возвратной пружины, используется закономерность, выраженная зависимостью

$$F\,dt = M\,dv \tag{1.14}$$

Судя по этой зависимости, изменение количества движения массы равно приложенному импульсу (произведению силы на время, в течение которого эта сила приложена к телу). Решая это уравнение относительно dv, получаем:

$$dv = \frac{F\,dt}{M}$$

Чтобы получить характер изменения скорости по времени, интегрируем это выражение:

$$v = \frac{1}{M}\int_0^t F\,dt \tag{1.15}$$

Согласно уравнению (1.15) торможение заданной массы определяется в следующем порядке:

1. Строится график изменения силы F по времени.
2. Измеряется площадь, ограниченная графиком и ординатами $t = 0$ и t_1.
3. Частное от деления измеренной площади на массу дает величину ординат потерь скорости для времени t_1.
4. Повторяются операции 2 и 3 для других значений t и затем по полученным значениям строится график потерь скорости отката затвора.
5. Разность между графиком скорости свободного отката и графиком потерь скорости дает график скорости заторможенного отката затвора.

Применив изложенный метод в системе ***затвор—возвратная пружина***, мы получим падение скорости затвора из-за сопротивления пружины. Если бы сила торможения была постоянной или если бы ее изменение во времени было бы известно, то применение метода не вызывало бы затруднений.

Трудность заключается в том, что с перемещением затвора изменяется сила сопротивления возвратной пружины. Для того, чтобы рассчитать график изменения силы торможения по времени, необходимо иметь график изменения положения затвора по времени в процессе отката.

Чтобы решить эту задачу, рассмотрим ее в два этапа. Для периода времени .010 *сек*., т. е. для периода действия пороховых газов, торможение, вызываемое пружиной, незначительно по величине и практически может считаться постоянным и равным усилию предварительного поджатия пружины. Изменение усилия, определяемое жесткостью пружины, незначительно, но в случае необходимости может быть определено достаточно точно. Это обеспечивает получение точных результатов для участка пути, соответствующего периоду времени 0-.010 *сек*. Для остального цикла автоматики действие пороховых газов уже равно нулю и перемещение затвора может быть определено аналитически без всяких затруднений.

График перемещения и скорости затвора для периода 0-.010 *сек*. определяется следующим образом:

1. Строят график скорости свободного отката затвора по времени (см. фиг. 14).

2. Определяют уменьшение скорости, вызываемое сопротивлением возвратной пружины, для нескольких значений времени t (при условии $F = \text{const}$). **Из соответствующих ординат графика скорости свободного отката вычитают полученные значения Δv и строят новый график скорости. Если влияние торможения пружины оказывается незначительным, то полученный график и будет графиком скорости торможенного отката.**

3. Производят интегрирование полученного в первом приближении графика скорости для получения графика перемещений затвора в первом приближении.

4. Полученный в первом приближении график перемещения затвора используют для построения графика скорости торможенного отката затвора во втором приближении. (При втором приближении учитывают изменение усилия сопротивления возвратной пружины от перемещения затвора).

$$V_{II} = v_{\text{св. отк}} - \int_0^t \frac{(F_0 + Kd_1)\,dt}{M_r}$$

5. Строят график перемещения затвора во втором приближении, интегрируя график скорости.

$$X_{II} = \int_0^t V_{II}\, dt$$

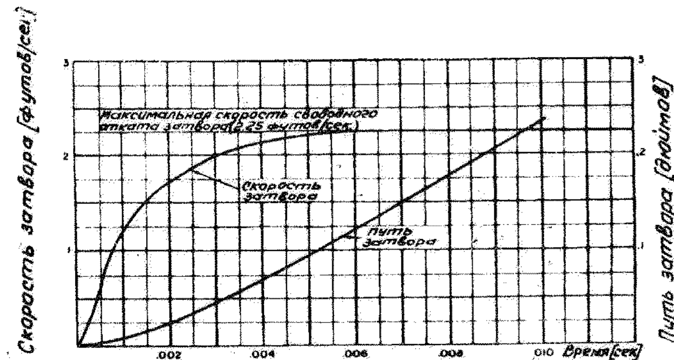
Приближения повторяются до тех пор, пока не прекратятся более или менее значительные исправления графика перемещения затвора.

В каждом последующем приближении используется результат предыдущего.

$$V_i = v_{св.\ отк.} - \int_0^t \frac{F_0 + Kd_{i-1}}{M_r}\, dt$$

$$X_i = \int_0^t V_i\, dt$$

На фиг. 16 показаны графики, относящиеся к разбираемому нами примеру. В данной конструкции возвратная пружина настолько слаба, что



Фиг. 16. График пути и скорости затвора по времени для периода 0-.010 сек.

вызываемое ею торможение в течение первых 10 миллисекунд движения затвора совершенно незначительно. Например, уменьшение скорости от предварительного усилия пружины в этом интервале времени составляет:

$$V = \frac{F_0\, t}{M_r} = \frac{17.2 \cdot .010 \cdot 32.2}{500} = .0111 \text{ фут/сек}, \ (.0033\ \textit{м/сек.})$$

Уменьшение скорости затвора вследствие изменения усилия пружины из-за влияния жесткости K, определенное методом, указанным в пункте 4, составляет всего лишь .0004 фут/сек. (.00012 *м/сек*).

Таким образом, график торможенной скорости затвора в данном примере практически идентичен графику скорости свободного отката затвора на участке 0-.010 *сек*. Остальной участок графика перемещения затвора определяется аналитически по уравнению (1.10):

$$d = \frac{KD + F_0}{K} \sin\left(\sqrt{\frac{K}{M_r}}\, t + \arcsin \frac{F_0}{KD + F_0}\right) - \frac{F_0}{K}$$

Однако, поскольку некоторый путь d' был пройден затвором в течение первых 10 миллисекунд, значения F_0, D и t должны быть изменены для того, чтобы учесть это перемещение, а величина d должна быть увеличена на d' Измененные величины, вводимые в уравнение (1.10) будут иметь вид:

$$F_0' = F_0 + Kd';$$

$$D' = D - d';$$

$$t' = t - .010.$$

Тогда уравнение (1.10) примет вид:

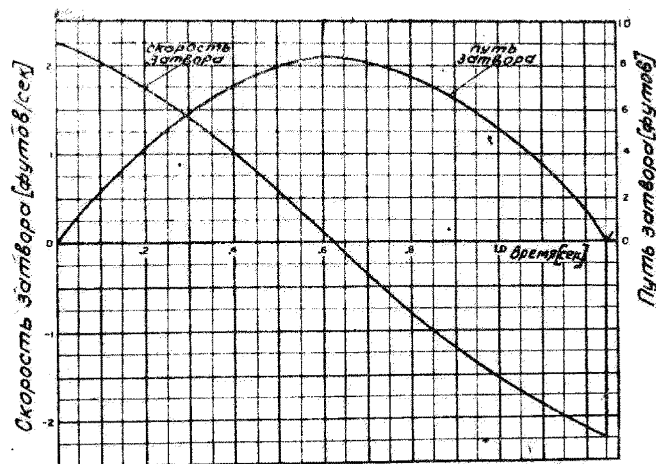
$$d = d' + \frac{K(D - d') + F_0 + Kd'}{K} \sin\left[\sqrt{\frac{K}{M_r}}(t - .010) + \right.$$

$$\left. + \arcsin \frac{F_0 + Kd'}{K(D - d') + F_0 + Kd'}\right] - \frac{F_0 + Kd'}{K}$$

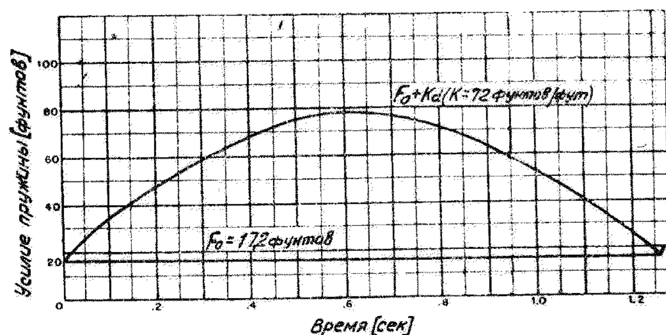
$$d = \frac{KD + F_0}{K} \sin\left[\sqrt{\frac{K}{M_r}}\,(t - .010) + \arcsin \frac{F_0 + Kd'}{KD + F_0}\right] - \frac{F_0}{K}.$$

Полученное уравнение применяется для окончательного определения графика перемещения затвора. Ординаты графика перемещения затвора умножаются на величину K и увеличиваются на величину F_0 для получения кривой изменения усилия пружины по времени. Интегрируя эту кривую и затем деля полученные значения на M_r в соответствии с уравнением (1.15), мы получим график потерь скорости затвора. Вычитая этот график из графика скорости свободного отката, мы получим график торможенной скорости отката затвора.

На фиг. 17 показаны графики перемещения и скорости, полученные указанным методом для рассматриваемого образца. График усилий пружины, полученный на основании графика перемещений (фиг. 17), показан на фиг. 18.



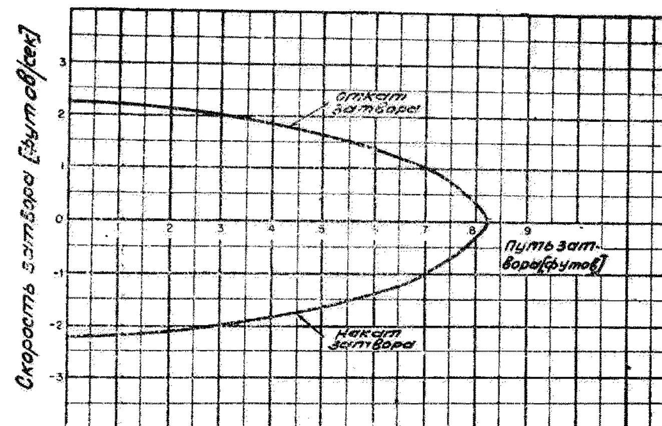
Фиг. 17. График пути и скорости затвора по времени для всего цикла.



Фиг. 18. График изменения усилий возвратной пружины по времени.

При желании в графики перемещений и скорости затвора можно ввести потери, зависящие от трения и нагрузок, возникающих при работе автоматики. Методика их учета аналогична методике учета сопротивления пружины. Например, сила трения, тормозящая перемещение затвора, является величиной в основном постоянной и поэтому может быть учтена за счет увеличения значения F_0 в уравнении (1.10). Постоянные или переменные нагрузки, возникающие на отдельных участках движения затвора — например, усилие, необходимое для снятия патрона с подающего механизма,—могут быть учтены аналогичным образом. В этом случае следует предварительно разбить цикл автоматики на участки, соответствующие действующим силам.

Бывает полезно составить график скорости затвора по его пути. Его легко построить при наличии графика скоростей и перемещений по времени. Такой график для рассматриваемого образца оружия изображен на фиг. 19.



Фиг. 19. График скорости затвора по его пути.

5. *Замечание по возвратным пружинам*

Выше отмечалось, что выбор величины предварительного поджатия и жесткости K для возвратной пружины может оказывать существенное влияние на величину темпа стрельбы. В этом можно убедиться, рассмотрев два крайних условия. В первом случае предварительное поджатие равно нулю. Во втором случае жесткость пружины равна нулю, т. е. затвору противодействует какая-то постоянная по величине сила.

Выражение для времени отката при $F = Kd$ можно получить из уравнения (1.11) путем подстановки $F_0 = 0$. В этом случае мы имеем:

$$T_{F_0=0} = \sqrt{\frac{M_r}{K}}\ \frac{\pi}{2} \tag{1.16}$$

Формула для определения времени отката при $F = F_0 = \text{const}$ не может быть получена из уравнения (1.11), так как замена величины K нулем приводит к неопределенному выражению. Однако требуемое вы-

ражение для $T_{K=0}$ может быть получено из уравнения (1.8) при решении дифференциального уравнения.

$$dt = \sqrt{\frac{M_r}{K}} \; \frac{dd}{\sqrt{D-d}}$$

Зависимость между длиной и временем отката получим в виде

$$t = \sqrt{\frac{2M_r}{K}}\left(\sqrt{D} - \sqrt{D-d}\right) \qquad (1.17)$$

при $t = T_{K=0}$, $d = D$

Тогда

$$T_{K=0} = \sqrt{\frac{2M_r D}{F_0}} \qquad (1.18)$$

Подставив в уравнение (1.16) величину K, равную $\frac{2F_{av}}{D}$, где F_{av} является средним усилием пружины, а в уравнение (1.18) $F_0 = F_{av}$ и проведя соответствующие преобразования, получим:

для $F_0 = 0$ $\quad T = \sqrt{\frac{M_r D}{2F_{av}}}\;\frac{\pi}{2} = \sqrt{\frac{M_r D}{F_{av}}}\;\sqrt{2}\,\frac{\pi}{4}$

для $K = 0$ $\quad T = \sqrt{\frac{2M_r D}{F_{av}}} = \sqrt{\frac{M_r D}{F_{av}}}\;\sqrt{2}$

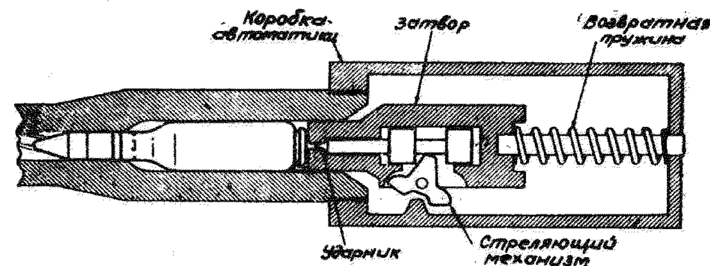
Поскольку среднее усилие пружины в обоих случаях одинаково, время отката затвора при $K = 0$ больше времени отката при $F_0 = 0$ в $\frac{4}{\pi}$ раз. При условии, что ни K, ни F_0 не равны нулю, мы получаем время отката, расположенное между двумя крайними положениями в зависимости от заданной комбинации. Отсюда следует, что с целью увеличения темпа стрельбы следует выбрать величину F_0 как можно меньшей.

§ 2. АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, ОСНОВАННЫЕ НА ПРИНЦИПЕ ОТДАЧИ ЗАТВОРА С РАННИМ РАЗБИТИЕМ КАПСЮЛЯ

В автоматической системе со свободной отдачей затвора последний возвращается в крайнее переднее положение с относительно малой скоростью, но все же обладает достаточно большой кинетической энергией. Эта энергия расходуется на деформацию металла при ударе затвора в крайнем переднем положении до начала следующего выстрела.

Поскольку в момент очередного выстрела затвор неподвижен, вся энергия порохового заряда используется для ускоренного отбрасывания затвора назад. Как уже отмечалось, такая система требует увеличения веса затвора для ограничения скорости его отката. Можно значительно уменьшить вес затвора, если рационально использовать его кинетическую энергию при накате. Вместо того, чтобы расходовать эту энергию на деформацию деталей при ударе перед очередным выстрелом, можно так рассчитать момент воспламенения очередного патрона, что выстрел произойдет именно тогда, когда затвор придет в свое крайнее переднее положение. В этом случае импульс пороховых газов используется прежде всего для замедления наката затвора и для его остановки и лишь во вторую очередь для отбрасывания затвора назад. При такой системе автоматики лишь часть импульса пороховых газов используется для отдачи затвора, а время действия этого импульса на затвор уменьшается. Это обстоятельство позволяет применить более легкий затвор и создает условия, при которых можно допустить некоторое увеличение скорости его движения. Таким образом, уменьшив вес оружия, можно значительно увеличить темп стрельбы.

Конструкция затвора автоматической системы, в которой использован принцип раннего разбития капсюля (фиг. 20) мало чем отли-



Фиг. 20. Упрощенная схема системы с отдачей затвора при раннем воспламенении капсюля.

чается от затвора системы со свободной отдачей затвора (за исключением стреляющего механизма, показанного на схеме и рассчитанного на разбитие капсюля очередного патрона при недоходе затвора до крайнего переднего положения). Хотя конструктивные особенности реального оружия такого типа могут значительно отличаться от схемы, изображенной на фиг. 20, тем не менее эта система в достаточной степени отражает специфические особенности автоматической системы с отдачей затвора и с ранним воспламенением капсюля. Основными деталями такой системы являются затвор, удерживающий дно патрона при выстреле и свободно скользящий в коробке автоматики, и возвратная пружина, аккумулирующая кинетическую энергию откатывающегося затвора и возвращающая его в переднее положение для очередного выстрела.

Описание автоматического цикла

Автоматика оружия, построенного на принципе отдачи затвора с ранним разбитием капсюля, работает следующим образом. Цикл автоматики начинается из положения затвора на шептале. При сходе с шептала затвор под действием возвратной пружины устремляется вперед. При накате затвор снимает очередной патрон с патроноподающего механизма и досылает его в патронник. Как только патрон входит в патронник (но еще не доходит до своего крайнего переднего положения), срабатывает стремляющий механизм и воспламеняется капсюль.

Сила давления пороховых газов в канале ствола, возникающая при сгорании порохового заряда, действуя на дно гильзы, замедляет движение затвора вперед. Эта же сила останавливает затвор и затем отбрасывает его назад. При отбрасывании затвора назад единственной силой, стремящейся затормозить его откат, является сила инерции самого затвора. Сила давления пороховых газов действует лишь в течение .008-.009 *сек.* после воспламенения капсюля. Затем источник возникновения движущей силы исчезает и подвижные части откатываются назад по инерции. При откате затвора назад стреляная гильза извлекается из патронника и отражается из коробки автоматики. Сопротивление возвратной пружины постепенно снижает скорость отката затвора до нуля. В этот момент цикл автоматики оканчивается. При нажатой кнопке стрельбы затвор под действием аккумулированной в возвратной пружине энергии начинает накатываться вперед. Начинается новый цикл.

Анализ работы системы

Наиболее важным фактором, рассматриваемым при анализе этой системы, является способ использования энергии накатывающегося затвора. Если пренебречь потерями энергии на трение и работу вспомогательных механизмов, то можно считать, что возвратная пружина обеспечит затвору в переднем положении скорость, почти равную скорости отката затвора при выстреле. Следовательно, величина импульса, необходимая для остановки затвора, будет примерно равна величине импульса, требуемой для разгона затвора при его откате. В итоге лишь половина импульса пороховых газов используется для сообщения затвору необходимой энергии отката.

По сравнению с системой автоматики, основанной на свободной отдаче затвора, применение раннего воспламенения капсюля примерно в два раза уменьшает количество движения, получаемого затвором. Уже одно это позволяет в два раза уменьшить вес затвора. Кроме этого, применение раннего воспламенения в системе с отдачей затвора имеет и другие преимущества, связанные с изменением характера движения гильзы. Немедленно после воспламенения порохового заряда, т. е. в самом начале сгорания порохового заряда, затвор еще продолжает двигаться вперед и стремится дослать патрон в патронник. Силы трения гильзы о патронник стремятся затормозить продвижение гильзы вперед и вызывают в ее стенках напряжение сжатия. Эти напряжения не могут привести к обрыву гильзы тем более, что сама гильза находится в это время в патроннике. Как только движение гильзы вперед прекращается и она начинает смещаться назад, вступают в действие факторы, ограничивающие величину скорости и перемещения затвора, что также нужно учитывать.

Можно сделать два основных вывода:

1. Если патрон не смазан, то максимальное давление пороховых газов вызывает защемление гильзы в патроннике. При этом возможен обрыв гильзы, если только смещение затвора не ограничено так, что предельное удлинение гильзы не превышает допустимую величину. Как было сказано выше, допустимое удлинение гильзы для данного патрона может быть установлено только экспериментально. Многократные эксперименты с латунными гильзами калибра 20 *мм* показали, что предельное смещение затвора назад за 1.5 миллисекунды после воспламенения капсюля должно быть не более .015 дюйма (0,38 *мм*).

В случае раннего воспламенения капсюля, примерно .0009 *сек.* периода горения заряда используется для торможения наката затвора. Критический период, в течение которого может произойти обрыв гильзы, сокращается таким образом до .0006 *сек.* Поскольку в течение этого периода затвор может совершенно безопасно сместиться на .015 дюйма (0,38 *мм*), средняя скорость движения затвора в этот период может быть равна примерно 2 фут/сек. (0,6 *м/сек*). Очевидно, что такая скорость в два раза превышает скорость свободной отдачи затвора в автоматической системе, где отсутствует раннее воспламенение капсюля. Правда, и эта скорость все же относительно мала.

2. Если патроны смазаны, движение затвора ограничивается величиной допустимого оголения гильзы при наличии значительного давления пороховых газов в канале ствола. В системе со свободной отдачей затвора для гильзы, имеющей форму, изображенную на фиг. 6, А, перемещение затвора в течение первых 10 миллисекунд горения порохового заряда не должно превышать .4 дюйма (6,25 *мм*). Поскольку при раннем воспламенении откат затвора начинается лишь через .0009 *сек.* после начала воспламенения, то, следовательно, время этого смещения затвора уменьшается до .0091 *сек.*, а скорость возрастет до 2,5 фут/сек (0,80 *м/сек*) (вместо 2 фут/сек. при свободной отдаче затвора).

Из всего сказанного явствует, что, хотя применение раннего воспламенения допускает некоторое увеличение скорости затвора по сравнению с системами со свободной отдачей затвора, тем не менее для патронов, показанных на фиг. 6, А, это усовершенствование не дает значительных преимуществ.

Очевидно, что увеличение скорости затвора вызовет некоторое увеличение темпа стрельбы наряду с уменьшением веса затвора. Общее

уменьшение веса затвора можно ожидать в 2-2,5 раза. Иначе говоря, вместо затвора весом 500 фунтов (227 *кг*) для системы со свободной отдачей затвора в системе с ранним разбитием капсюля можно использовать затвор весом 200 фунтов (90 *кг*). Хотя это и является значительным улучшением, однако возможность создания пушки с затвором такого веса также сомнительна, особенно, если учесть, что и темп стрельбы будет для разбираемого примера немногим больше 48 ***выстр/мин***

Для того, чтобы полностью использовать все преимущества раннего воспламенения капсюля, следует применять патроны со смазкой и с особой конструкцией донной части (см. фиг. 6, В). При такой конструкции гильзы диаметр ее основания меньше максимального диаметра корпуса, что позволяет затвору с экстрактором заходить в патронник вместе с патроном. Патронник в этом случае делается значительно глубже.

Когда гильза под действием давления пороховых газов начинает смещаться по патроннику, она должна пройти сравнительно большое расстояние, прежде чем ее тонкие стенки у дна сойдут со стенок патронника. Следовательно, в этом случае можно несколько увеличить скорость перемещения затвора. На штатном 20-*мм* патроне для пушки с ранним воспламенением капсюля стенки гильзы у ее дна утолщены, а сама гильза в момент выстрела глубоко опущена в патронник. Это позволяет смещать гильзу почти на 2 дюйма (51 *мм*) за первые 10 миллисекунд цикла автоматики (считая с момента воспламенения капсюля). Поскольку это время в системе с ранним воспламенением капсюля уменьшается до .0091 *сек*. то средняя допустимая скорость затвора в этом интервале может достичь 18 фут/сек. (5,6 *м/сек*). При такой скорости вес затвора можно принять равным или даже меньшим 30 фунтов (13,6 *кг*), а темп стрельбы увеличить до 400—500 ***выстр/мин***. Хотя для 20-*мм* пушки этот темп нельзя считать достаточно большим, тем не менее конструкция такой пушки приемлема для ряда специальных условий.

Здесь уместно отметить некоторые особенности применения патронов калибра 20 *мм* для системы рассматриваемого типа. Поскольку гильза, изображенная на фиг. 21, имеет дульце, не поддерживаемое стенками



Фиг. 21. Деформация гильзы с повышенной бутылочностью.

патронника при смещении гильзы назад под действием пороховых газов, давление внутри гильзы стремится сместить ее переднюю часть вперед

и одновременно перештамповать ее по форме передней части патронника. В некоторых системах это приводит к тому, что после выстрела дульца отражаемых гильз совершенно изменяют свою форму. Иногда, вследствие столь сильной деформации, дульце надрывается в одном или нескольких местах вдоль оси гильзы.

Необходимо также отметить, что применение патронов, способных свободно перемещаться в патроннике, облегчает решение вопроса отработки раннего воспламенения капсюля по сравнению с аналогичной задачей в случае применения патронов, изображенных на фиг. 6 А, для которых допустимое перемещение гильзы под действием пороховых газов равно лишь 4 дюйма (6,25 *мм*). Для того, чтобы, применяя гильзы, изображенные на фиг. 6 А, получить удовлетворительные результаты при раннем воспламенении, отладку раннего воспламенения следует вести с таким расчетом, чтобы положение гильзы было близко к положению, показанному на фигуре. Если воспламенение капсюля запоздает, затвор ударится о пенек ствола. Если же воспламенение происходит слишком рано, гильза не успевает полностью войти в патронник. Поскольку допустимое перемещение гильзы под давлением равно всего лишь .4 дюйма (6,25 *мм*), разница в несколько десятых долей миллиметра в срабатывании механизма раннего воспламенения может оказать серьезное влияние на работу автоматики и в силу этого отладка механизма воспламенения должна отличаться высокой точностью. Для капсюлей ударного действия и для механизмов воспламенения обычного типа такая точность отладки почти недостижима. Наоборот, для боеприпасов, изображенных на фиг. 6 В, применение которых допускает увеличение перемещения затвора и гильзы до 2 дюймов (50 *мм*), точность отладки стреляющего механизма не является необходимостью и допускается в пределах .1 дюйма (2,5 *мм*).

Во всяком случае ранее воспламенение капсюля является эффективным средством для системы с отдачей затвора. Правда, преимущества, получаемые при этом от использования энергии накатывающегося затвора, сравнительно ограничены. При всех прочих равных условиях они заключаются в следующем:

1. Вес затвора при раннем воспламенении капсюля может быть уменьшен в два раза.

2. Несколько большие скорости затвора позволяют в известных пределах повысить темп стрельбы системы с ранним воспламенением.

Этих преимуществ явно недостаточно для того, чтобы сделать возможность создания пушки под штатные патроны обычного типа реальной. Удовлетворительных результатов можно ожидать лишь при использовании патронов специального типа с указанной выше формой дна гильзы.

Применение таких патронов для системы со свободной отдачей затвора позволило бы значительно снизить вес затвора и добиться более высокого темпа стрельбы. Но и при этом вес затвора и темп стрельбы исключали бы возможность создания и практически приемлемой конструкции оружия. Применение раннего воспламенения капсюля уменьшает вес затвора и, следовательно, увеличивает темп стрельбы, что допускает создание реальной конструкции оружия.

Математический анализ системы

Математический анализ системы с ранним воспламенением капсюля проводится по той же методике, что и анализ системы со свободной отдачей затвора. Исходные величины для расчетов остаются без изменений (см. фиг. 9, 10 и 11). Поскольку большинство зависимостей, применяемых в этих расчетах, подобны ранее использовавшимся, выводы формул не повторяются. Новые зависимости приводятся по мере необходимости.

1. Определение веса затвора

Количество движения, сообщенное затвору за счет импульса пороховых газов, одинаково как при свободной отдаче затвора, так и при отдаче затвора с ранним воспламенением капсюля. Однако следует помнить, что в момент воспламенения порохового заряда затвор движется вперед и обладает начальным количеством движения. В любой момент времени после воспламенения заряда количество движения затвора будет равно сумме начального количества движения и изменения количества движения, вызванного импульсом пороховых газов.

Выше было показано, что общее изменение количества движения, вызванное сгоранием порохового заряда, выражается уравнением (1.2)

$$M_p V_p + 4700 M_c,$$

а начальное количество движения затвора при его движении вперед равно:

$$\frac{1}{2}\left(M_p V_p + 4700 M_c\right)$$

Поскольку это количество движения направлено вперед, оно имеет отрицательный знак.

До момента вылета снаряда из канала ствола изменение количества движения, вызванное импульсом пороховых газов, составит

$$\left(M_p + \frac{M_c}{2}\right) v_p$$

Следовательно, количество движения затвора в любой момент этого периода можно выразить зависимостью

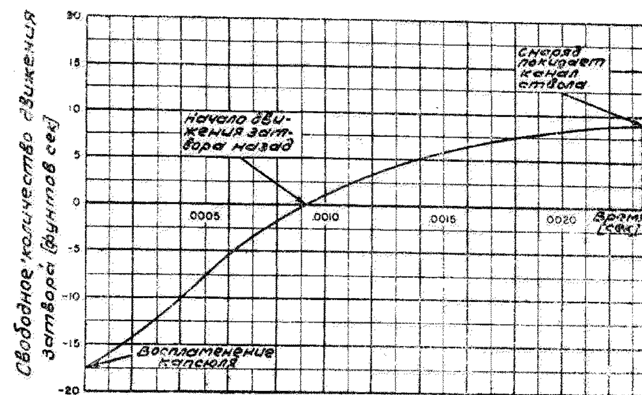
$$M_r v_{r_f} = \left(M_p + \frac{M_c}{2}\right) v_p - \frac{1}{2}\left(M_p V_p + 4700 M_c\right) \qquad (1.19)$$

Уравнение (1.19) можно использовать при построении графика количества движения затвора по времени для пиродинамического периода. Для рассматриваемого штатного 20-*мм* патрона уравнение (1.19) принимает вид:

$$M_r v_{r_f} = \frac{1}{32.2}\left(.29 + \frac{.070}{2}\right) v_p - \frac{1}{2}\left(.29 \cdot 2750 + 4700 \cdot .070\right);$$

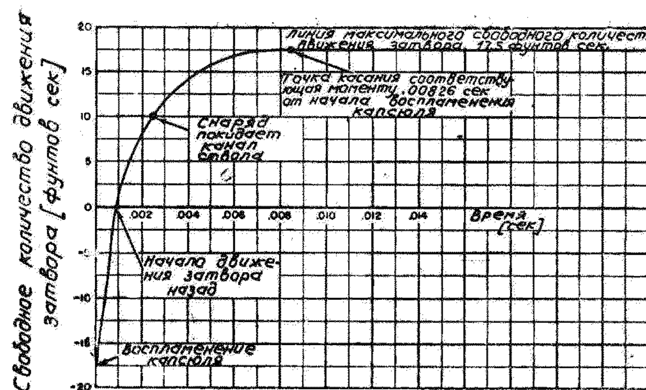
$$M_r v_{r_f} = (.0101 v_p - 17.5) \text{ фунт.сек } [0.0148 v_p - 7.90 \ (\textit{кг сек})]$$

График, соответствующий полученной зависимости, показан на фиг. 22.



Фиг. 22. Количество движения затвора в период времени 0-.00234 сек.

На фиг. 23 приведен график изменения количества движения затвора при изменении времени от $t = 0$ до $t = 0{,}01$ *сек*.



Фиг. 23. Количество движения затвора в период времени 0-.01 сек.

Приведенные графики имеют тот же характер, что и графики для свободной отдачи затвора, показанные на фиг. 12 и 13 (исключением является то, что их нулевая ось поднята вверх на величину 17.5 фут.сек. (7,05 *кг.сек*).

График количества движения для периода, начинающегося после вылета снаряда из канала ствола, строится так же, как и в случае свободной отдачи затвора. При этом максимальная величина количества движения затвора выражается зависимостью

$$M_r V_{r_f} = \frac{1}{2} (M_p V_p + 4700 M_c) \qquad (1.20)$$

Для условий, оговоренных разбираемым примером,

$$M_r V_{r_f} = \frac{1}{2}\left(\frac{.29}{32.2} 2750 + 4700 \frac{.070}{32.2}\right) = 17.5 \text{ фунт.сек.}$$

График количества движения затвора, приведенный на фиг. 23, и зависимость (1.4) используются для определения веса затвора. Зависимость (1.4) имеет вид:

$$M_r = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \left(M_r\ v_{r_f}\right) d\,t}{(t_2 - t_1)\, v_{r_{f(all)}}}$$

Если для создания системы автоматики были использованы патроны, показанные на фиг. 6 В, для которых величина допустимого перемещения затвора в течение первых 10 миллисекунд равна 2 дюймам (51 *мм*), то допустимая скорость затвора в промежутке времени t = .0009 — .0100 *сек.* составляет

$$V_{r_{f(all)}} = \frac{2}{.0091 \cdot 12} = 18.3 \text{ фут/сек } (5{,}7 \text{ м/сек.})$$

Интегрируя площадь под кривой на фиг. 23 в пределах от t = .0009 до t = .0091 *сек.*, получаем общую площадь, равную .1310 фунт. сек² (0,0595 *кг.сек²*). Применяя уравнение (1.4) для определения M_r получаем:

$$M_r = \frac{.131}{.0091 \cdot 18.3} = .789 \text{ фунтсек}^2\text{/фут } (1{,}19 \text{ кг.сек}^2/\text{м})$$

Таким образом, требуемый вес затвора

$$W_r = M_r\, g = 32.2 \cdot .789 = 25.5 \text{ фунт } (11{,}8 \text{ кг}).$$

Для последующего анализа вес подвижных частей оружия принимаем равным 26 фунтам.

2. *Определение конструктивных характеристик пружины*

Скорость свободного отката анализируемой системы определяется так же, как и для системы со свободной отдачей затвора. Из уравнения максимальной величины количества движения затвора

$$M_r V_{r_f} = \frac{1}{2} (M_p V_p + 4700 M_c) \qquad (1.21)$$

$$V_{r_f} = \frac{M_p V_p + 4700 M_c}{2 M_r}$$

находим величину максимальной скорости затвора.

Для затвора весом в 26 фунтов и для условий рассматриваемого примера, имеем:

$$V_{r_f} = \frac{.29 \cdot 2750 + 4700 \cdot .07}{2 \cdot 26} = 21.9 \text{ фут/сек } (6{,}65 \text{ м/сек})$$

Допуская, что эта скорость приобретается затвором мгновенно, получаем величину энергии затвора по уравнению (1.6):

$$E_r = \frac{1}{2} M_r V_{r_f}^2 = \frac{W_r V_{r_f}^2}{2 g} \text{ (фунт.фут)}$$

Подставляя в это уравнение числовые значения разбираемого примера, получаем:

$$E_r = \frac{26 \cdot 21.9^2}{2 \cdot 32.2} = 194 \text{ фунт.фут } (26{,}5 \text{ кг.м})$$

Геометрические размеры возвратной пружины затвора должны обеспечивать полное поглощение энергии затвора при его откате. Энергия, аккумулируемая при этом возвратной пружиной, равна работе некоторой средней силы поджатия пружины на расстоянии отката затвора, т. е.

$$E_r = F_{av} D \quad \text{или} \quad F_{av} = \frac{E_r}{D}$$

Если принять, что в рассматриваемом примере затвор для обеспечения подачи 20-*мм* патрона должен при откате отойти на расстояние равное 10 дюймов (254 *мм*), то среднее усилие поджатия пружины

$$F_{av} = \frac{194}{.833} = 233 \text{ фунт } (105 \text{ кг})$$

В данном случае при конструировании пружины следует придерживаться тех же закономерностей, которые были рассмотрены при анализе системы со свободной отдачей затвора. Для разбираемого примера возможен произвольный выбор характеристик пружины. Так, если мы возьмем усилие предварительного поджатия 130 фунтов (59 *кг*), то усилие максимального поджатия, равное 336 фунтам (152 *кг*), обеспечит требуемую величину среднего усилия. Поскольку разница между максимальным и предварительным усилиями равна 206 фунтам, а ход поджатия 10 дюймам, то жесткость пружины составит 247 фунт/фут (3,7 *кг/см*). Учитывая, что выбор был произволен, допустим, что величина предварительного усилия поджатия 130 фунтов и жесткость 247 фунт/фут обеспечат получение удовлетворительно работающей пружины. Поскольку вес затвора и характеристики возвратной пружины нами получены, основные конструктивные задачи, связанные с проектированием оружия, можно считать решенными. В дальнейшем остается только проверить результаты проектирования, т. е. определить темп стрельбы.

3. Составление уравнений движения затвора

Поскольку уравнения движения затвора для системы со свободной отдачей затвора базируются на энергетическом балансе, они, очевидно, не потребуют существенных изменений для применения к случаю раннего воспламенения капсюля. Разумеется, числовые величины, подставляемые в эти уравнения, будут иными, но зависимости между ними сохранятся. Речь идет об уравнениях (1.9) — (1.12). Напомним, что все эти уравнения были выведены при допущении, что максимальная скорость свободного отката сообщается затвору мгновенно.

Более полный анализ процесса приводится при описании методов, применяемых для составления графиков зависимости пути и скорости по времени.

На основании уравнения (1.12) определяем темп стрельбы, рассматриваемой нами пушки под 20-*мм* патрон:

$$N = \frac{30\sqrt{\dfrac{247 \cdot 32.2}{26}}}{\arccos \dfrac{130}{247 \cdot .833 + 130}} = 446 \text{ в/мин}$$

При известных темпе стрельбы и энергии затвора, определяем по формуле (1.13) мощность, потребляемую затвором.

$$HP = \frac{E_r N}{33{,}0} \qquad (1.13)$$

Подставляя в эту формулу известные величины, получаем

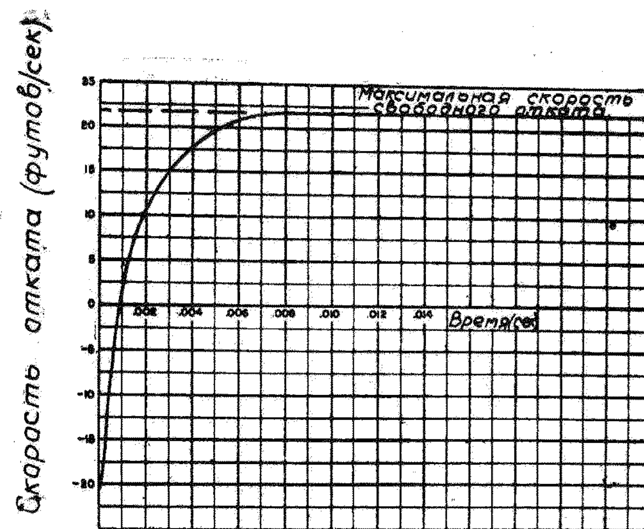
$$HP = \frac{194 \cdot 446}{33{,}0} = 2.62 \text{ л. с.}$$

Такая мощность вполне достаточна для приведения в действие всех механизмов автоматики системы.

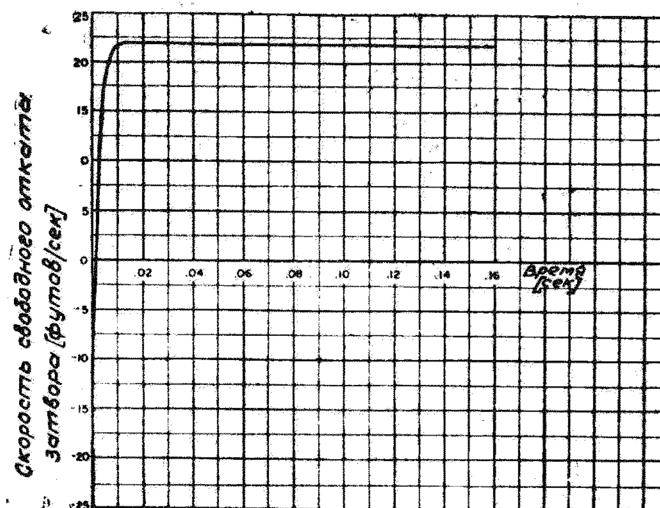
4. Построение расчетных графиков пути и скорости затвора по времени

Графики изменения пути и скорости затвора во времени для систем с ранним воспламенением капсюля составляются по тем же правилам, что и для систем со свободной отдачей затвора. Различие заключается лишь в том, что в системах с ранним воспламенением капсюль воспламеняется еще при движении затвора вперед.

График скорости свободного отката затвора (фиг. 24 и 25) вытекает непосредственно из графика количества движения откатывающегося затвора (см. фиг. 23) путем деления каждой ординаты этого графика на величину массы затвора (вес затвора принят равным 26 фунтам (11,8 *кг*).

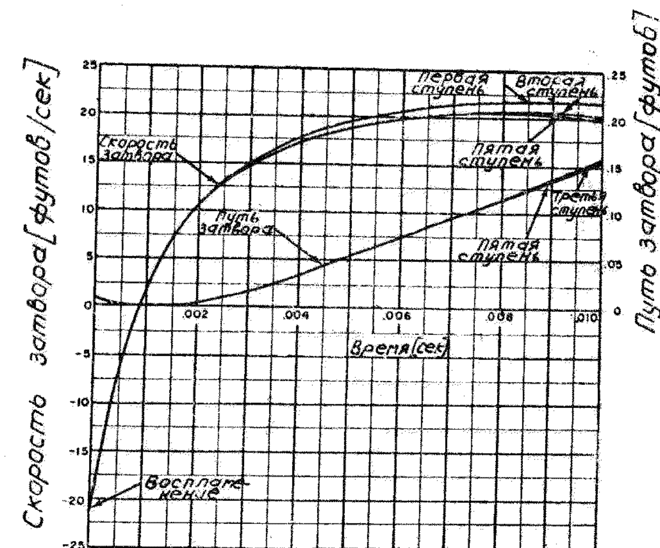


Фиг. 24. График скорости свободного отката затвора.



Фиг. 25. Скорость свободного отката затвора за период .16 сек.

На фиг. 26 показаны графики пути и скорости затвора в интервале времени от $t=0$ до $t=.010$ *сек.* Эти графики были получены методом последовательного приближения, описанным выше. Следует обратить внимание на то, что в течение первых .0009 *сек.* кривая пути затвора круто опускается вниз до нуля, а затем вновь начинает подниматься, показывая начало движения затвора назад. Это говорит о том,



Фиг. 26. График пути и скорости по времени для первых .010 сек. движения затвора.

что отсчет пути затвора производится от его крайнего переднего положения, которого он достигает уже в процессе выстрела.

В данной конструкции суммарные потери скорости от сопротивления возвратной пружины (величины предварительного поджатия) в интервале времени от $t=.0009$ до $t=.010$ *сек.* равняются 1.4 фут/сек (0,44 *м/сек*) и определяются следующим образом:

$$\Delta v = \frac{F_0 t}{M_r} = \frac{130 \cdot .0091 \cdot 32.2}{26} = 1.47 \text{ фут/сек } (0{,}44 \text{ м/сек})$$

Потери скорости затвора ввиду изменения усилия пружины из-за наличия жесткости равны всего .19 фут/сек (0,057 *м/сек*).

Остальной участок графика перемещения затвора определяется аналитически по уравнению (1.10), в которое подставляются следующие значения:

$$F'_o = F_o + Kd' = 130 + 247 \cdot .156 = 163.5 \text{ фунт}$$

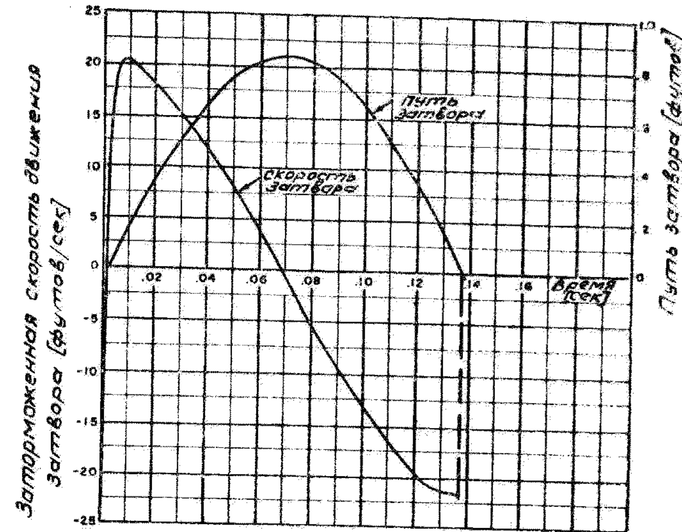
$$D' = D - d' = D - .156$$

$$t = t - .010$$

После соответствующих подстановок получаем уравнение в окончательной форме:

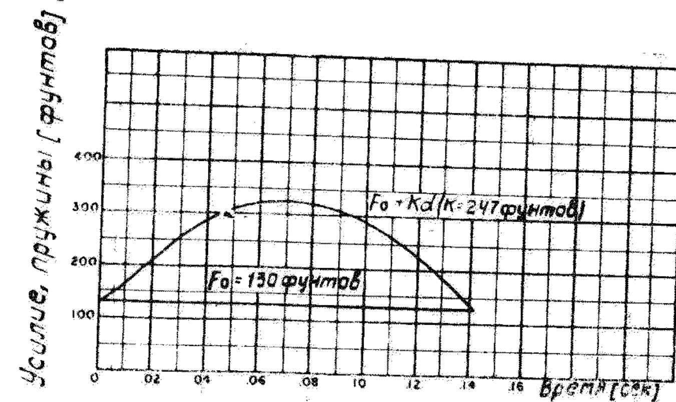
$$d = 1.361 \sin (17.47\, t + .351) - .527$$

Это уравнение используется для получения полного графика перемещения затвора. Результаты расчета приведены на фиг. 27.



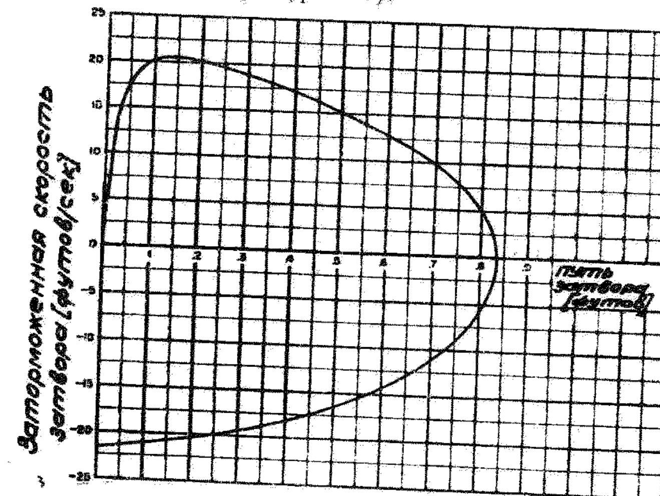
Фиг. 27. Графики пути и скорости по времени для полного цикла автоматики.

Для построения графика изменения силы пружины во времени (фиг. 28) ординаты графика перемещения умножаются на величину K и увеличиваются на F_o



Фиг.28. Изменение усилий возвратной пружины по времени.

Интегрируя площадь под графиком F пружины и деля результаты интегрирования на M_r согласно уравнению (1.15), можно получить график потерь скорости из-за сопротивления возвратной пружины. Вычитая ординаты полученного графика из ординат графика скорости свободного движения затвора, можно получить полный график скорости заторможенного движения затвора (фиг. 27).



Фиг. 29. График скорости затвора по его пути.

На фиг. 29 представлен график скорости затвора по его пути для разбираемого нами примера. Этот график может быть составлен по графику, изображенному на фиг. 27.

§ 3. АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С ЗАМЕДЛЕННОЙ ОТДАЧЕЙ ЗАТВОРА

Основные трудности, возникающие при создании автоматической системы, в которой используется принцип отдачи, связаны с чрезмерным перемещением гильзы, происходящим в момент, когда давление в канале ствола еще достаточно велико. Как отмечалось, применение раннего воспламенения капсюля позволяет использовать часть импульса пороховых газов для торможения наката затвора, что по сравнению с системами со свободной отдачей затвора дает возможность уменьшить вес затвора и увеличить темп стрельбы. Эти преимущества являются следствием того, что откат затвора замедляется примерно на 1 миллисекунду. Величина импульса пороховых газов, используемая на отбрасывание затвора назад, уменьшается наполовину при одновременном уменьшении времени, в течение которого затвор получает ускоренное движение назад. При неизменной допустимой величине смещения затвора назад уменьшение времени ускоренного отката затвора под действием пороховых газов приводит к увеличению средней скорости отката.

Благоприятное влияние замедления в начале отката затвора при раннем воспламенении капсюля может привести к выводу, что дальнейшее увеличение этого замедления может еще более улучшить работу автоматической системы. К сожалению, замедление отката, которое можно получить при помощи раннего воспламенения капсюля, более или менее постоянно и соответствует времени, необходимому для получения в процессе горения пороха примерно 50% импульса данного заряда. Так, для 20-*мм* пушки замедление достигает величины, колеблющейся в пределах от .0009 до .0010 *сек.* Для того, чтобы получить большее замедление начала отката затвора, необходимо применение специального механизма, известного под названием механизма запирания с замедленной отдачей.

Под механизмом (затвором) с замедленной отдачей обычно понимают такую автоматическую систему, в которой ствол и затвор остаются сцепленными до тех пор, пока давление пороховых газов в канале ствола не спадет до величины, при которой извлечение гильзы не вызовет никаких затруднений (т. е. замедление должно обеспечить отпирание системы уже в периоде последействия). Остаточное давление в канале ствола к концу отпирания должно обеспечить откат затвора назад для завершения полного цикла автоматики оружия. Исходя из этого, время отпирания затвора конструктивно устанавливают из расчета на использование для работы автоматики определенного остаточного давления.

Любое оружие с принудительно отпирающимся затвором при наличии давления пороховых газов в канале ствола в известной степени является автоматической системой с замедленной отдачей затвора. К такому типу оружия принадлежат, например, системы с отводом пороховых газов или с отдачей ствола, у которых затвор отпирается немедленно после вылета снаряда из канала ствола. Однако в этих системах основным источником энергии является не энергия отдачи затвора, а энергия газового поршня или энергия откатывающихся подвижных частей, например, ствола. Поэтому оружие такого типа не рассматривается в данном разделе. Здесь анализируется лишь оружие, в котором основным источником энергии, приводящим в действие механизм автоматики, является энергия отдачи затвора под действием давления пороховых газов.

Методы, применяемые для отпирания затвора в системах с замедленной отдачей затвора, весьма разнообразны. Некоторые из них очень просты, другие, наоборот, сложны, но все они в конечном итоге направлены на удержание затвора в запертом положении в течение определенного периода действия пороховых газов.

В одних образцах оружия ствол с запертым затвором может несколько отходить назад, причем это движение используется только для отпирания затвора. В других образцах ствол имеет отверстие для отвода пороховых газов. Отводимые пороховые газы, действуя на поршень или на рычаг, обеспечивают отпирание затвора немедленно после того, как снаряд покинет канал ствола.

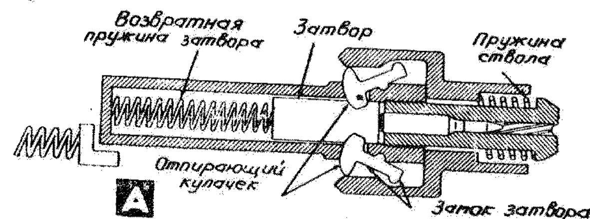
Существует также метод, при котором источником энергии отпирания затвора является капсюль патрона. Под воздействием давления в канале ствола капсюль смещается назад и приводит в действие механизм отпирания затвора, состоящий из толкателя, который отходит назад, выводя из сцепления с боевыми упорами ствола боевые зацепы затвора. Механизм рассчитан на некоторое замедление отпирания, вследствие чего оно происходит лишь после вылета снаряда из канала ствола.

Известен, наконец, принцип использования надульника, рассчитанный на сохранение давления в канале ствола в течение определенного времени. При выстреле пороховые газы смещают надульник, и это движение через жесткую связь передается на запирающий механизм, отпирая затвор. Далее пороховые газы обеспечивают завершение цикла автоматики, отбрасывая затвор в крайнее заднее положение.

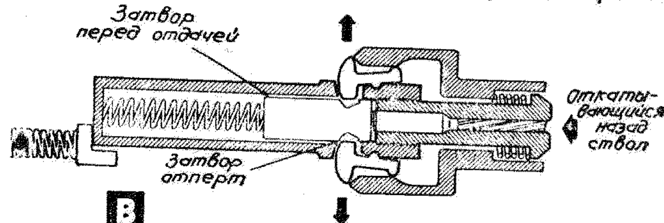
Основной особенностью автоматических систем с замедленной отдачей затвора является то, что затвор остается запертым до тех пор, пока снаряд не покинет канал ствола. Метод замедления при отпирании затвора не имеет принципиального значения для расчета. Ниже рассматривается случай отпирания затвора с использованием отдачи ствола, но методика расчета пригодна и для других случаев.

Описание автоматического цикла

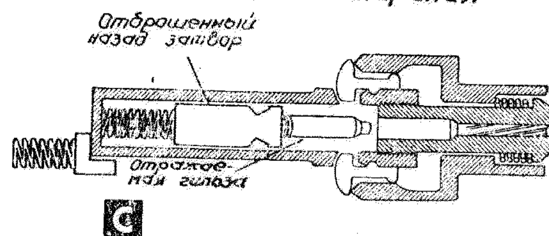
На фиг. 30 показана схема типичного механизма замедленной отдачи затвора с использованием отдачи ствола для отпирания затвора. Работа автоматики в этом механизме протекает следующим образом.



Положение подвижных частей перед выстрелом



Момент отпирания



Отбрасывание затвора назад действием пороховых газов.

Фиг. 30. Упрощенная схема автоматической системы с использованием замедленной отдачи затвора. (Отпирание за счет отдачи ствола).

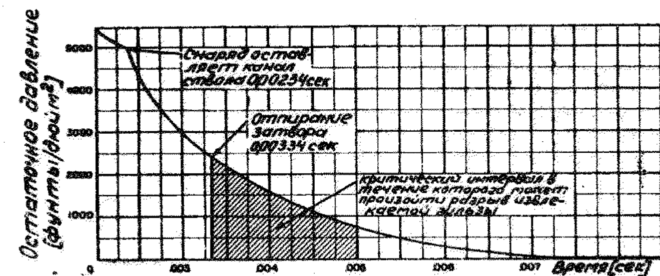
Первым положением является положение, при котором патрон находится в патроннике и канал ствола заперт (фиг. 30, А). При выстреле реакция от действия пороховых газов на дно снаряда вызывает отдачу ствола и сцепленного с ним затвора. Это движение ограничено

временем, необходимым для того, чтобы снаряд покинул канал ствола, и согласовано с работой отпирающего механизма (фиг. 30, В). Как только затвор отопрется, остаточное давление пороховых газов смещает стреляную гильзу назад, преодолевая сопротивление, вызываемое инерцией массы затвора. После отпирания затвора движение ствола ограничивается пружинным буфером и ствольной пружиной, которая возвращает ствол и ствольную коробку в исходное положение.

При откате затвора происходит экстракция стреляной гильзы, ее отражение и сжатие возвратной пружины затвора. Как только возвратная пружина и буфер аккумулируют всю энергию затвора и остановят его, начинается накат затвора под действием возвратной пружины. При этом затвор захватывает с подающего механизма очередной патрон и досылает его в патронник. В конце наката затвора происходит его сцепление со стволом и запирание. Цикл автоматики заканчивается.

Анализ работы системы

В системе с замедленной отдачей затвора отпирание последнего происходит при сравнительно небольшом давлении в канале ствола и обрыв гильзы уже не является критерием для определения надежности работы системы. Но при этом следует иметь в виду, что остаточное давление можно считать небольшим лишь по сравнению с максимальным давлением пороховых газов в стволе. Для типичной 20-*мм* пушки с длиной ствола 60 дюймов (1525 *мм*) дульное или начальное остаточное давление пороховых газов равно примерно 5000 фунт/дюйм^2 (350*кг/см*^{2}), причем предполагается, что это давление снижается экспоненто (фиг. 31) до тех пор, пока не достигает величины атмосферного давления.



Фиг. 31. Кривая остаточного давления (для пушки кал. 20-мм).

Давление газов в течение большей части периода последействия все же достаточно велико, чтобы вызвать разрыв тонких стенок гильзы у ее дна. Извлечение гильзы из патронника становится возможным при спаде давления газов до определенной допустимой величины. Поэтому

в системах с замедленной отдачей также следует ограничивать смещение затвора.

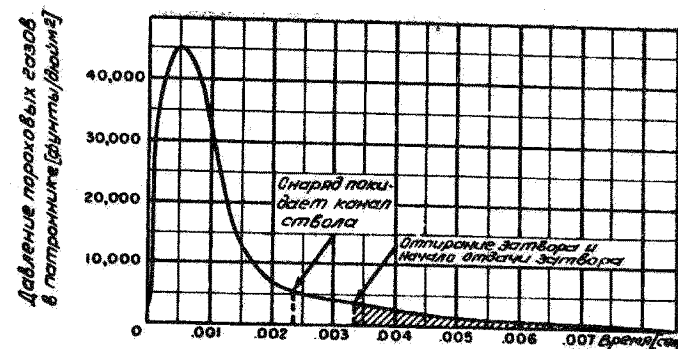
Допустимая величина смещения гильзы, находящейся под действием остаточного давления пороховых газов, может быть установлена лишь экспериментально. Однако для штатной 20-*мм* гильзы можно получить некоторое представление об этой величине из графика, показанного на фиг. 31. Если допустить, что стенки гильзы выдержат внутреннее давление 750 фунт/дюйм^2 (53 *кг/см*^{2}), то период, в течение которого гильза может разорваться, следует выделить на графике в виде заштрихованного пространства. Допустим далее, что отпирание затвора происходит через .001 *сек.* после вылета снаряда из канала ствола. Тогда критическое время экстракции гильзы будет ограничено ординатами $t = .00334$ и $= t$ .00500 *сек.* или, иначе говоря, этот критический период будет длиться в течение .00166 *сек.* Как было уже указано, патрон обычного типа (фиг. 6, А) при наличии остаточного давления в канале ствола, способного вызвать разрыв гильзы или раздутие ее стенок, не следует извлекать из патронника больше чем на .25 дюйма (6,25 *мм*). Поскольку смещение, равное .25 дюйма допустимо, а время, в течение которого это смещение может произойти, равно примерно .00166 *сек.*, постольку допустимая средняя скорость затвора в течение этого интервала времени

$$\frac{0.25}{12 \cdot .00166} = 12.5 \text{ фут/сек } (3{,}75 \text{ м/сек.}).$$

Как показано на фиг. 31, остаточное давление еще продолжает действовать через .00500 *сек.* после начала воспламенения, и поэтому окончательная скорость затвора может быть значительно больше, т. е. может превышать среднюю допустимую скорость, полученную для первого периода .00166 *сек.* после отпирания затвора.

Из сказанного следует, что применение замедленной отдачи обеспечивает получение сравнительно высоких скоростей затвора на патронах обычного типа, в связи с чем отпадает необходимость в патронах специального типа, требующихся для систем с отдачей затвора и с ранним воспламенением капсюля.

В системах с замедленной отдачей затвора лишь сравнительно небольшая доля общего импульса пороховых газов расходуется на приведение в действие механизма автоматики. Величина потребляемой доли импульса по сравнению с его общей величиной показана на фиг. 32. Допустим, что отпирание затвора произойдет через .001 *сек.* после вылета снаряда из канала ствола. Тогда заштрихованная площадь на графике (если помножить ее на площадь поперечного сечения канала ствола) будет представлять собой импульс, обеспечивающий создание относительной скорости между стволом и затвором, а незаштрихованная площадь под кривой (также умноженная на площадь поперечного сечения канала ствола) — импульс, воспринимаемый стволом и затвором, когда они сцеплены между собою.



Фиг. 32. Изменение давления пороховых газов в патроннике по времени.

Как было отмечено в предыдущем разделе, затвор должен быть относительно легким, чтобы при сравнительно малом импульсе ему можно было сообщить высокую скорость и достаточную энергию. Учитывая большой импульс, приложенный к стволу и затвору до отпирания, в системах с замедленной отдачей затвора и с отпиранием затвора при откате ствола следует принять меры по амортизации отдачи ствола. В оружии с замедленной отдачей затвора, но с отпиранием затвора при помощи газа, отводимого из канала ствола, или от смещения капсюля, обычно следует с целью уменьшения силового воздействия оружия на цапфы установки амортизировать откат всего оружия.

Необходимо отметить, что сцепленные ствол и затвор могут откатываться назад со сравнительно большой скоростью относительно коробки автоматики. После отпирания затвор, откатываясь под действием пороховых газов назад, увеличивает таким образом свою скорость. Следовательно, скорость затвора, замеренная относительно коробки автоматики, является суммой скорости ствола во время отпирания затвора и собственной скорости затвора, приобретенной им под действием отдачи. Поэтому скорость затвора при замедленной отдаче затвора бывает достаточно большой, и, следовательно, пушки, построенные на этом принципе, могут обладать сравнительно высоким темпом стрельбы.

Математический анализ системы

Математический анализ системы с замедленной отдачей затвора основан на тех же принципах, что и анализ систем со свободным откатом. Исключением является то, что данный анализ проводится в два этапа. К первому этапу относятся процессы, проходящие до отпирания, а ко второму — процессы, проходящие при отдаче затвора и при движе-

нии его по инерции. В анализе по-прежнему используются баллистические данные штатного 20-*мм* патрона (фиг. 9, 10 и 11).

Поскольку большая часть применяемых в данном анализе формул, подобна формулам, применявшимся ранее, их вывод не повторяется. Новые зависимости будут приводиться с соответствующими выводами.

Прежде чем приступить к анализу, необходимо установить некоторые характеристики рассматриваемого оружия.

Допустим, что отпирание будет осуществляться за счет отдачи ствола. Поскольку ствол и затвор перед отпиранием будут откатываться совместно, их вес должен быть известен. Поэтому при конструировании в первую очередь следует спроектировать ствол и запирающий механизм. Примем для нашего анализа вес ствола и связанных с ним деталей равным 40 фунтам (18 *кг*), а вес затвора — 10 фунтам (4,5 *кг*). Допустим также, что отпирание затвора происходит спустя .001 *сек.* после вылета снаряда из канала ствола.

Не исключена возможность, что после анализа возникнет необходимость в изменении принятых нами величин. В данном случае они необходимы лишь для иллюстрации предлагаемого метода расчета.

1. Условия свободного отката подвижных частей до отпирания затвора

До отпирания затвора затвор и ствол откатываются при выстреле одновременно. Для определения условий их свободной отдачи до момента вылета снаряда из канала ствола, принимаем уравнение (1.1).

$$M_r V_{r_f} = \left(M_p + \frac{M_c}{2}\right) v_p$$

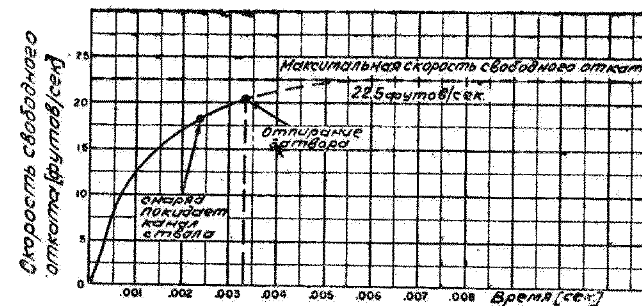
Решая его относительно v_{r_f} получаем:

$$v_{r_f} = \frac{.29 + \frac{.07}{2}}{50} v_p = .0065 \, v_p$$

Уравнение может быть использовано для построения графика скорости отката подвижных частей по времени в пиродинамический период. Величины скоростей снаряда берутся с графика, приведенного на фиг. 10.

На фиг. 33 приведен график скорости откатных частей в промежутке времени между $t = 0$ и $t = .0023$.

Для построения остальной части графика необходимо определить максимальную скорость свободного отката и экстраполировать полученный график ранее описанным методом. Фактически экстраполирован-



Фиг. 33. Скорость свободного отката до отпирания затвора.

ный график может быть использован только до момента отпирания затвора. Нанесенная пунктиром часть графика, начинающаяся с момента $t = .00334$ *сек.*, необходима лишь для проведения экстраполяции и не характеризует условия отката подвижных частей.

2. Действие пружин до отпирания затвора

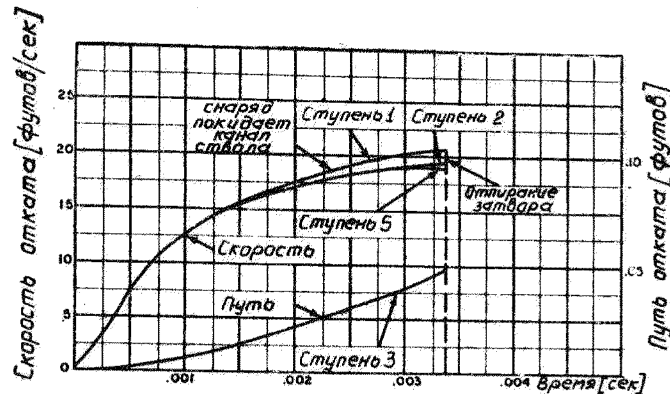
Непосредственно после отпирания откат ствола ограничивается буфером, а затвор отбрасывается назад остаточным давлением пороховых газов, действующим на затвор через гильзу. Поскольку остановка ствола осуществляется буфером, единственным назначением ствольной пружины является возврат ствола в исходное положение и надежное удержание его в этом положении. Поэтому величина усилия ствольной пружины не имеет для настоящего расчета существенного значения и может быть взята произвольно. Однако следует отметить, что для обеспечения энергичного наката ствола в крайнее переднее положение пружина должна быть достаточно сильной. Как будет показано ниже, ствольная пружина не может оказать большого влияния на движение ствола в то время, когда подвижные части откатываются назад под действием силы отдачи, и поэтому ее сопротивление может быть достаточно большим.

Принимаем усилие предварительного поджатия ствольной пружины равным 400 фунтам (180 *кг*) при жесткости $K = 400$ фунт/дюйм (71,5 *кг/см*). Поскольку импульс, получаемый затвором при отдаче, сравнительно мал, возвратная пружина затвора, естественно, должна быть слабой, чтобы обеспечить величину отката затвора, равную 10 дюймам (250 *мм*), что соответствует подаче 20-*мм* патрона. Фактические характеристики не могут быть установлены на данном этапе расчета, но мож-

но с успехом допустить, что усилие предварительного поджатия этой пружины должно быть около 120 фунтов (54 *кг*), а ее жесткость—порядка 20 фунт/дюйм (4 *кг/см*).

3. *Построение графиков пути и скорости подвижных частей по времени до отпирания затвора*

Расчетные графики пути и скорости подвижных частей по времени до отпирания затвора составляются так же, как и в случае свободной отдачи. На фиг. 34 показаны графики, составленные для рассматривае-



Фиг. 34. Графики пути и скорости по времени для подвижных частей до отпирания затвора.

мого примера в интервале времени t = 0 и t = .00334 *сек*. Графики получены методом последовательного приближения, описанным выше. При составлении графиков были учтены суммарные сопротивления ствольной и затворной пружин. Общие потери скорости, вызванные суммарным сопротивлением предварительного поджатия ствольной и затворной пружин за время t = .00334 *сек*., составляют:

$$\triangle v = \frac{F_0 t}{M_r} = \frac{520 \cdot .00334 \cdot 32.2}{50} = 1.12 \text{ фут/сек } (0{,}33 \text{ м/сек}).$$

Потери скорости откатных частей, ввиду изменения усилия пружин из-за наличия жесткости K, равны .26 фут/сек (0,078 *м/сек*). Исследование графиков (фиг. 34) показывает, что перемещение откатных частей к моменту отпирания равно .047 фута (14,2 *мм*), а величина скорости к этому же моменту составляет 19,2 фут/сек (5,7 *м/сек*).

4. *Движение ствола после отпирания*

Непосредственно после отпирания ствол ударяется о буфер и его откат перекращается. Поскольку вес ствола равен 40 фунтам (18,2 *кг*) и он движется при откате со скоростью 19.2 фут/сек (5,7 *м/сек*), его кинетическая энергия

$$E = \frac{1}{2} M V^2 = \frac{1}{2} \frac{40}{32.2} (19.2)^2 = 229 \text{ фунт.фут } 31{,}2 \text{ кг.м})$$

Для того, чтобы остановить ствол, буфер должен поглотить эту энергию. Если мы допустим, что остановка ствола должна произойти на пути поджатия буфера, равном .5 дюйма (12,7 *мм*), то среднее усилие пружины буфера:

$$229 \cdot \frac{12}{.5} = 5500 \text{ фунт } (2490 \text{ кг.})$$

Это указывает на необходимость повышенной жесткости буферного устройства. Буферные устройства должны обеспечивать значительные потери энергии при ударе. При нормально сконструированном буфере ствол после реверсирования его движения будет иметь лишь 30% той энергии, которой он обладал в момент удара о буфер, т. е. буфер поглотит около 70% энергии. Движение ствола при поджатии буфера во многом зависит от конструктивных характеристик буфера, использованного в данной системе.

Необходимо отметить, что при поджатии буфера влияние усилия пружины ствола настолько мало, что им можно пренебречь. Для уяснения методики расчета допустим, что оказываемое буфером при сжатии сопротивление постоянно и при поджатии на .5 дюйма (12,7 *мм*) равно 5500 фунтам (2500 *кг*). Допустим также, что усилие разжатия буфера равно 30% от его рабочего усилия, т. е. 1650 фунтам (750 *кг*). Исходя из этих цифр и используя уравнение (1.5), составляем график движения ствола, показанный на фиг. 35.

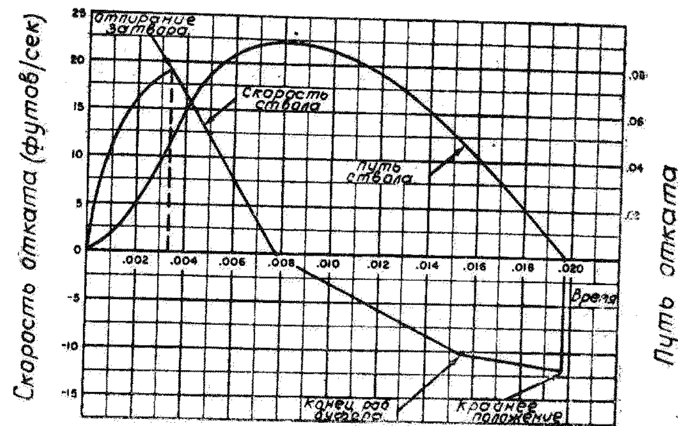
Потери скорости от действия буфера

$$\triangle v = \frac{F \cdot t}{M} = \frac{5500 \cdot 32.2}{40} t = 4420 t,$$

где t отсчитывается от момента включения буфера.

Начальная скорость ствола, сообщенная ему буфером,

$$V = \frac{F \cdot t}{M} = \frac{1650 \cdot 32.2}{40} t = 133 t,$$



Фиг. 35. Графики пути и скорости ствола по времени.

где величина t отсчитывается от момента начала наката ствола. Выражение действительно до тех пор, пока ствол не продвинется вперед на .5 дюйма (12,7 *мм*). Время, необходимое для прохождения этого пути, может быть определено при интегрировании выражения для скорости:

$$S = \frac{1}{2} \frac{F}{M} t^2,$$

откуда t = .00792 *сек.* и V = 10.5 фут/сек (3,2 *м/сек*).

После того, как ствол оторвется от буфера, его движение вперед обеспечивается возвратной пружиной. Путь ствола до крайнего передне-

го положения, как было показано выше, равен .047 фута (14,2 *мм*). Среднее усилие пружины ствола на этом участке с незначительной ошибкой будет:

$$F_{av} = 400 + \frac{400 \cdot .047 \cdot 12}{2} = 512 \text{ фунт } (231 \textit{ кг})$$

Приращение скорости ствола на участке его движения под действием пружины

$$\triangle v = \frac{F \cdot t}{M} = \frac{512 \cdot 32.2}{40} t = 415t.$$

Учитывая скорость ствола при отходе его от буфера, можно определить скорость на рассматриваемом участке движения по формуле

$$V = 10.5 + 415t$$

Время, необходимое для прохождения этого участка, может быть определено путем решения относительно t равенства $d = V_0 t + \frac{1}{2} \frac{F_{av}}{M} t^2$,

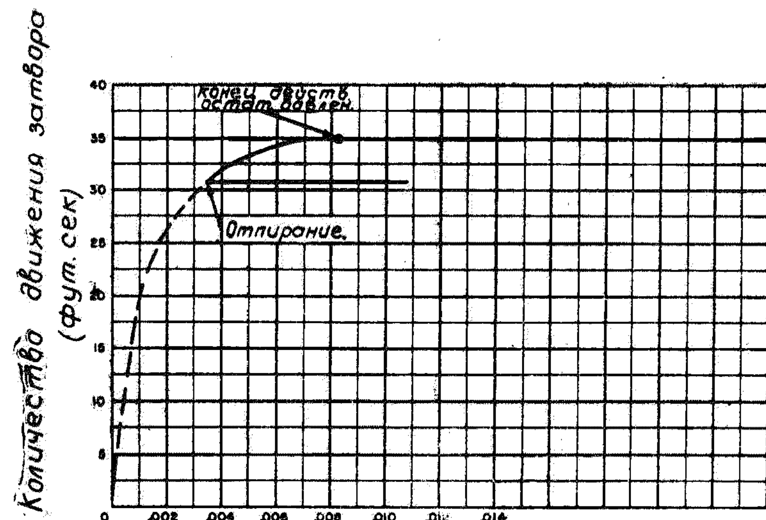
откуда t = .00490 *сек.*

Графики, полученные на основании проведенных расчетов, показаны на фиг. 35. Из графика видно, что ствол приходит в крайнее переднее положение через .0198 *сек.* после воспламенения заряда со скоростью 12 фут/сек (3,6 *м/сек*). Ударяясь о буфер, ствол останавливается до подхода затвора и начала нового цикла автоматики.

5. Движение затвора после его отпирания

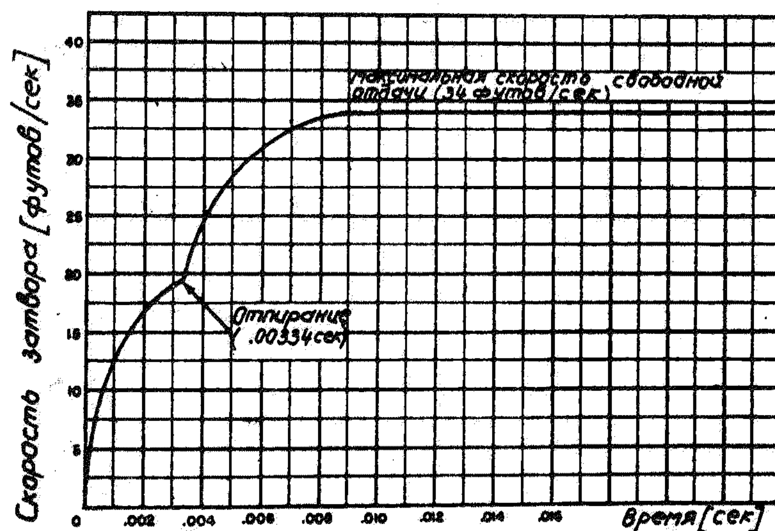
В момент отпирания ствол и затвор движутся назад с одинаковой скоростью. После отпирания затвора его скорость увеличивается за счет остаточного давления пороховых газов. Методы, применяемые для анализа движения затвора после отпирания, аналогичны методам, применявшимся при исследовании свободной отдачи затвора.

На фиг. 13 был приведен график количества движения свободно откатывающегося затвора. Для систем с замедленной отдачей затвора используется только часть полного количества движения, отсчитываемая над горизонтальной линией, пересекающей график в точке, соответствующей времени .00334 *сек.* График, изображенный на фиг. 36, пока-



Фиг. 36. Графики количества движения затвора после отпирания.

..ывает количество движения, которым располагает затвор после отпирания. Поделив эти величины на массу затвора весом 10 фунтов (4,5 *кг*), мы получим дополнительное приращение скорости затвора. На фиг. 37 приведен график скорости свободного отката затвора. (До точки, соот-



Фиг. 37. График скорости свободной отдачи затвора для первых 10 миллисекунд.

ветствующей времени .00334 *сек*., скорость взята с графика, показанного на фиг. 34, и представляет собой общую скорость затвора и ствола). Расчетные графики пути и скорости затвора по времени строятся так же, как и в случае свободной отдачи затвора.

Для определения полных графиков скорости и пути затвора по времени необходимо установить характеристики возвратной пружины затвора из расчета на обеспечение его отката. На фиг. 37 показано, что максимальная скорость свободного отката затвора равна 34 фут/сек (10,2 *м/сек*). Допускаем, что эта скорость приобретается затвором мгновенно. Величина энергии, которой обладает затвор, определяется по уравнению (1.6).

$$E_r = \frac{1}{2} M_r V_{r_f}^2 = \frac{W_r V_{r_f}^2}{2g} \text{ фунт.фут}$$

Подставляя в это уравнение принятые нами числовые величины, получим:

$$E_r = \frac{10 \cdot 34^2}{2 \cdot 32.2} = 180 \text{ фунт.фут } (23,9 \text{ кгм})$$

Поскольку возвратная пружина должна поглотить эту энергию на расстоянии 10 дюймов, среднее усилие пружины

$$F_{av} = \frac{E_r}{D} = \frac{180}{.833} = 216 \text{ фунт } (95,5 \text{ кг})$$

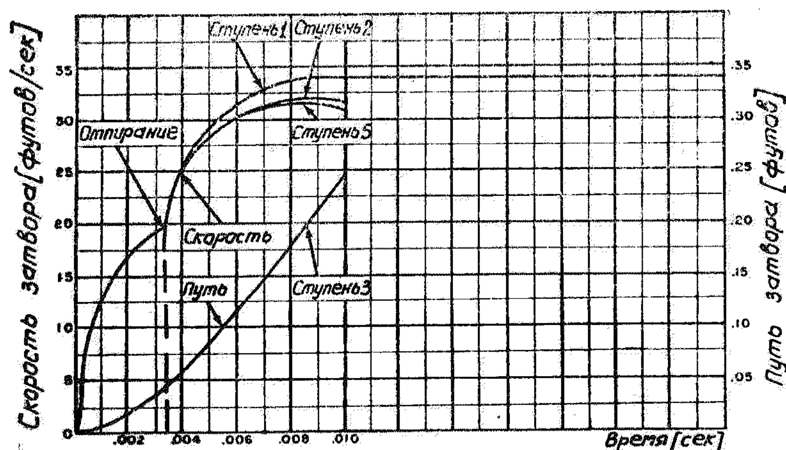
При проектировании пружины с таким усилием необходимо предусмотреть те же условия, что и при конструировании пружины для системы со свободной отдачей затвора. Однако в данном случае достаточно произвольного подбора характеристик пружины. Если мы возьмем усилие предварительного поджатия пружины $F_0 = 120$ фунтов, то при среднем усилии пружины 216 фунтов мы получим усилие максимального поджатия 312 фунтов. Поскольку разница между предварительным и максимальным усилиями составляет 192 фунта, а путь отката затвора равен 10 дюймам, жесткость возвратной пружины затвора составит 230 фунт/фут (3,50 *кг/см*). Учитывая, что этот выбор произволен, можно допустить, что выбранные значения $F_0 = 120$ фунтов и $K = 230$ фунт/фут обеспечат удовлетворительную работу пружины.

Зная характеристики возвратной пружины и имея график скорости свободного отката затвора, можно получить графики пути и скорости по времени для торможенного отката затвора, применяя уже известную методику. В момент отпирания затвора возвратная пружина сжата на .047 фута (см. фиг. 34). Это означает, что для участка свободной от-

дачи предварительное усилие поджатия пружины должно быть увеличено, т. е.

$$F_0 = 120 + .047 \cdot 230 = 130.8 \text{ фунт } (59{,}5 \text{ кг})$$

На фиг. 38 приведены графики пути и скорости затвора по време-



Фиг. 38. Графики пути и скорости затвора по времени в течение первых 10 миллисекунд.

ни на участке пути, соответствующем периоду от t=0 до t=.010 *сек.* Эти графики были получены после отметки времени t = .00334 *сек.* методом последовательного приближения, описанным выше.

Потери скорости от предварительного поджатия возвратной пружины затвора для интервала времени между t = .00334 и t = .010 *сек.* равны 2.81 фут/сек (0,84 *м/сек*) и определяются по зависимости

$$\triangle v = \frac{F_0 t}{M} = \frac{130.8 \cdot .00666 \cdot 32.2}{10} = 2.81 \text{ фут/сек } (0{,}84 \text{ м/сек}).$$

Потери скорости затвора из-за изменения усилия пружины, вызванные ее жесткостью и определенные методом приближения, равны .697 фут/сек (0,21 *м/сек*). Эти потери относительно невелики и поэтому уточнять их методом последовательного приближения дальше пятой ступени нецелесообразно.

Остальная часть графика перемещения затвора может быть определена аналитическим методом по уравнению (1.10). Измененные значения, подставляемые в уравнение (1.10), имеют следующий вид:

$$F_0' = F_0 + Kd' = 120 + 230 \cdot .245 = 176.3 \text{ фунт } (85{,}3 \text{ кг})$$

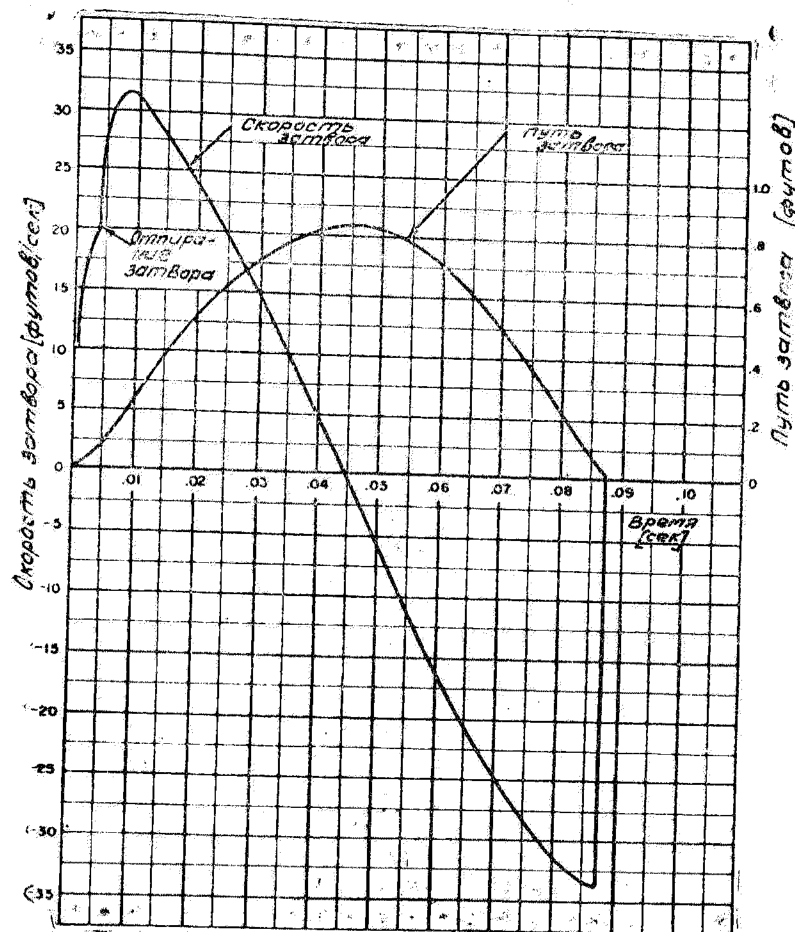
$$D' = D - d' = D - .245$$

$$t' = t - .010$$

Сделав необходимые подстановки, получаем уравнение, пригодное для использования после отметки времени t = .010 *сек.*:

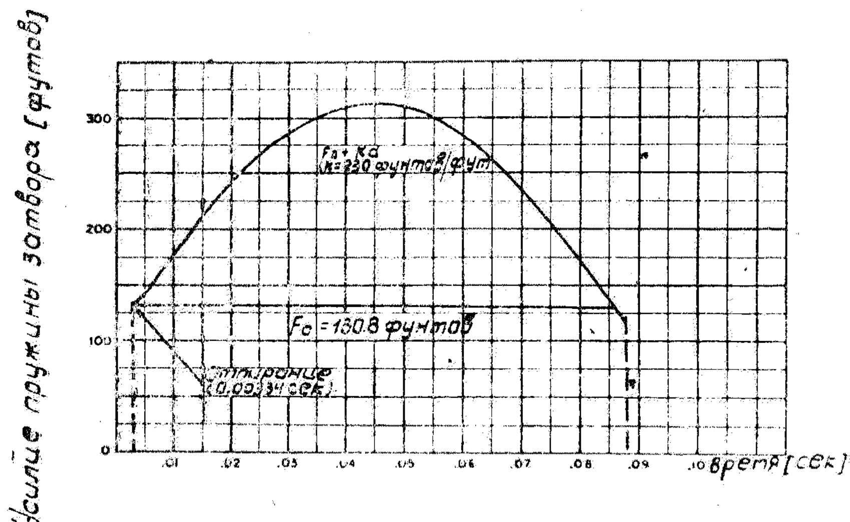
$$d = 1.353 \sin (5.2t + \arcsin .58) - .77$$

Полученное уравнение применяется для составления графика (фиг. 39) перемещения затвора. Затем ординаты графика перемещения умножаются на величину K и к ним прибавляется величина



Фиг. 39. Графики пути и скорости затвора по времени для полного цикла автоматики.

F_0 для получения графика изменения усилия пружины во времени (фиг. 40). Следует обратить внимание на то, что предварительное усилие пружины взято равным 176 фунтам (59,5 *кг*). Интегрируя площадь под графиком и деля полученные результаты на M_r в соответствии с уравнением (1.15), получаем график потерь скорости

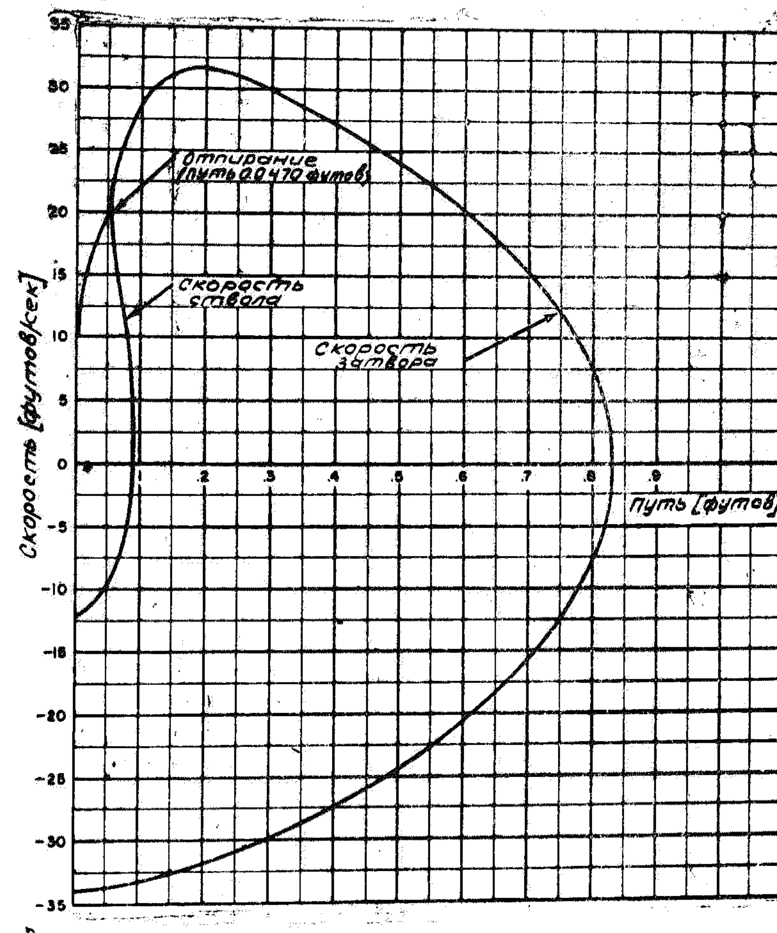


Фиг. 40. Изменение усилия пружины затвора по времени после отпирания затвора.

(все расчеты ведутся с момента отпирания, т. е. от отметки времени .00334 *сек*). Вычитая ординаты графика потерь скорости из ординат скорости свободного отката (см. фиг. 37), мы получаем график скорости торможенного отката, показанный на фиг. 39. На фиг. 41 приведен график скорости по пути, полученный по графикам, изображенным на фиг. 35 и 39.

Время полного цикла автоматики равно .0875 *сек*., что соответствует следующему значению темпа стрельбы для данной системы:

$$N = \frac{60}{.0875} = 686 \text{ в/мин.}$$



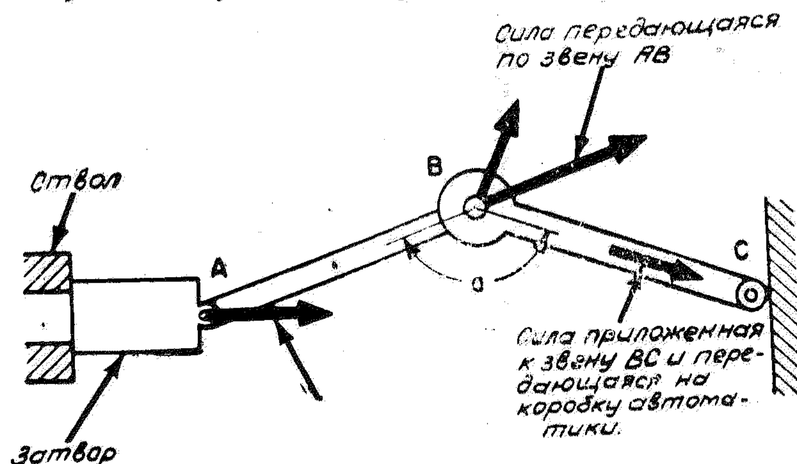
Фиг. 41. График скорости затвора и ствола по перемещению.

§ 4. АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С ПОЛУСВОБОДНОЙ ИЛИ ЗАТОРМОЖЕННОЙ ОТДАЧЕЙ ЗАТВОРА

Одним из принципиальных недостатков системы со свободной отдачей затвора является чрезмерно большой вес затвора, необходимый для ограничения перемещения затвора под действием пороховых газов. Этот недостаток может быть ликвидирован за счет применения систем с так называемой полусвободной или заторможенной отдачей затвора. Эти системы основаны на применении специального, тормозящего отдачу затвора, механизма, причем работа которого зависит от давления пороховых газов на затвор.

Механизм состоит из сравнительно легких деталей, и его инерционное сопротивление, после того как затвор привел в движение всю систему, сравнительно невелико. Однако расположение этого механизма в коробке автоматики таково, что затвор при отдаче должен преодолевать весьма значительное сопротивление. Другими словами, хотя сам затвор и детали связанного с ним механизма торможения очень легки, фактическое сопротивление ускорению затвора настолько велико, что полностью имитирует эффект очень тяжелого затвора. Механизм автоматики системы с отдачей полусвободного затвора подобен механизму со свободной отдачей (исключением является наличие механизма торможения).

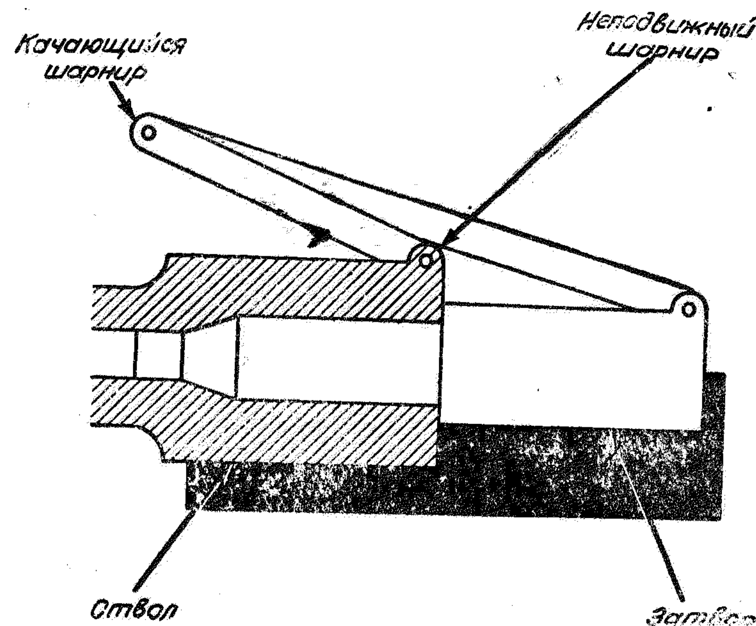
Конструктивное выполнение этого механизма может быть различным, но принципиальная особенность его во всех случаях одинакова: при отдаче затвор должен преодолеть инерционное сопротивление механизма торможения, причем действие затвора на звено осуществляется с большим передаточным числом. Один из таких механизмов (шарнирно-кривошипный) изображен на фиг. 42.



Фиг. 42. Шарнирно-кривошипный механизм торможения.

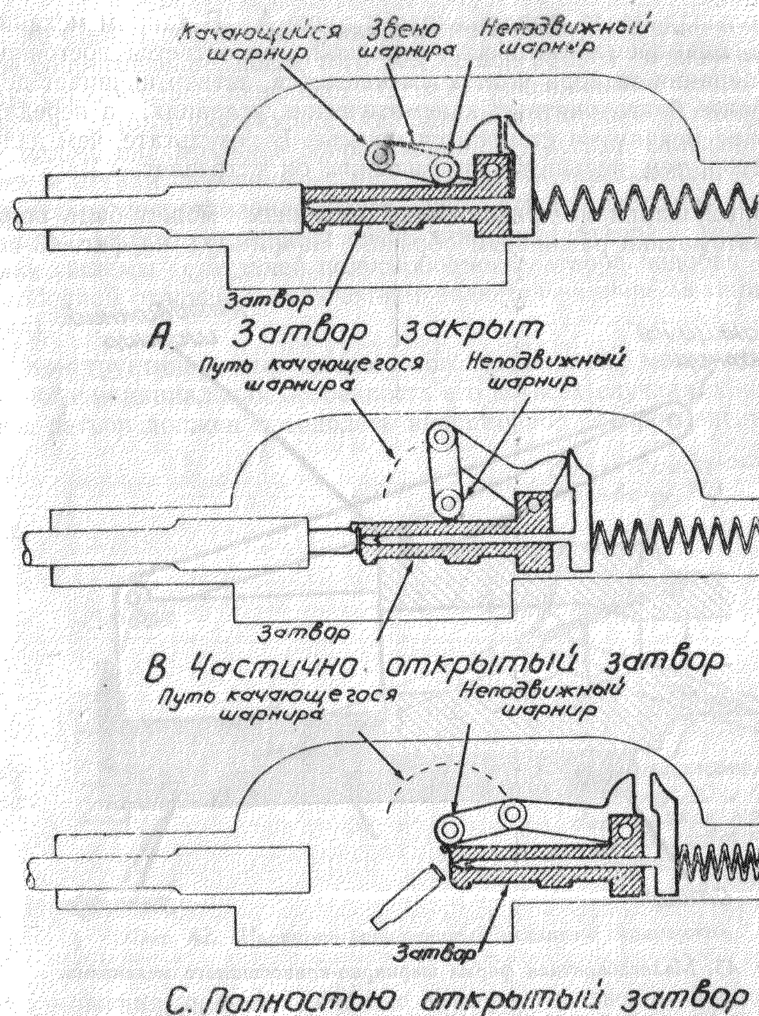
Когда затвор закрыт, угол α равен почти 180°. В этих условиях звеньевая цепочка действует как кривошипный механизм, слегка смещенный от центрального положения. Усилие отдачи, действующее на звеньевую цепочку, передается на коробку автоматики, не вызывая немедленного открытия затвора. Лишь сравнительно небольшая часть силы отдачи действует на массу звеньевой цепочки в точке B в направлении, необходимом для преодоления инерционного сопротивления вращения вокруг точки C. В результате этого сравнительно малое инерционное сопротивление массы звеньевой цепочки, увеличенное при помощи передаточного числа, оказывает такое же сопротивление ускорению затвора, как большая масса, приложенная к точке A. В данном механизме торможение, вызываемое звеньевой цепочкой, не остается постоянным. По мере отпирания затвора угол α уменьшается, затвор начинает действовать в более благоприятных кинематических условиях, а передаточное отношение механизма становится меньше. В результате, чем дальше отходит затвор, тем меньшее сопротивление он встречает.

Подобный шарнирно-кривошипный механизм может быть встроен в систему автоматики различным образом. Например, на фиг. 43 показан шарнирный коленчатый механизм, работающий по тому же принципу, но с лучшей компановкой. Механизм такого же типа, примененный в пулемете Шварцлозе, показан на фиг. 44.



Фиг. 43. Малогабаритная форма шарнирно-кривошипного механизма.

В некоторых случаях звенья механизма имеют опоры кулачкового типа с обкатывающейся контактирующей поверхностью, работающей при взаимном перемещении звеньев. Звеньевой механизм представляет собой лишь один из многих вариантов механизмов, которые могут быть использованы для увеличения приведенной массы затвора. К числу таких механизмов принадлежат также различные виды наклонных плоскостей, кулачковых механизмов, механизмов, включающих элементы спирали, клина, винтовой нарезки и тому подобных устройств, применение



Фиг. 44. Схема устройства затворного механизма пулемета Шварцлозе.

мых с таким расчетом, чтобы лишь часть импульса отдачи пороховых газов использовалась для прямолинейного или вращательного движения механизма.

Описание автоматического цикла

Автоматический цикл системы с полусвободной отдачей затвора протекает в основном так же, как и в системе со свободной отдачей затвора.

При выстреле давление пороховых газов через дно гильзы отбрасывает затвор назад, преодолевая сопротивление затвора и связанного с ним механизма торможения. После того как давление пороховых газов понижается до величины атмосферного (в 20-*мм* пушке это происходит через .010 *сек.* после начала горения порохового заряда), затвор продолжает двигаться назад по инерции, используя энергию, полученную под действием импульса пороховых газов. При этом извлекается и отражается стреляная гильза и сжимается возвратная пружина. Как только возвратная пружина и буферное устройство поглотят всю энергию затвора и связанных с ним подвижных деталей, затвор под действием возвратной пружины устремляется вперед, снимая очередной патрон с подающего механизма и досылая его в патронник. После того как патрон полностью дослан в патронник, происходит следующий выстрел, и цикл автоматики повторяется.

Анализ работы системы

Рассматривая возможности использования принципа полусвободной отдачи затвора для построения системы оружия под мощный современный патрон, например 20-*мм*, необходимо иметь в виду, что откат затвора начинается немедленно после воспламенения порохового заряда. Движение затвора происходит одновременно со смещением гильзы назад, т. е. происходит тот же процесс, что и в системе со свободной отдачей затвора. Таким образом, если торможение затвора имеет постоянную величину, т. е. аналогично действию тяжелого затвора, то такая система должна иметь все недостатки системы со свободной отдачей затвора (за исключением повышенного веса оружия). Как известно, эти недостатки заключаются в очень малом темпе стрельбы и нехватке энергии затвора для обеспечения работы автоматики. Очевидно, что применение системы с полусвободной отдачей затвора только с целью экономии веса оружия бесперспективно.

Преимущество принципа полусвободной отдачи может сказаться лишь при условии, что тормозящие свойства механизма не будут иметь постоянного характера. Идеальным типом механизма торможения следует считать такой механизм, в котором максимальное сопротивление движению затвора соответствует периоду максимального давления в канале ствола и продолжается до момента вылета снаряда из канала ствола. Столь большое сопротивление сдвигу затвора, очевидно, приведет к очень малым скоростям и к малой величине его перемещения за время нахождения снаряда в канале ствола. Поэтому желательно, чтобы в конце этого перемещения затвора характеристики торможения механизма изменились. Это значительно снизит сопротивление отдаче затвора через одну-две миллисекунды после вылета снаряда из канала

ствола, а остаточное давление упадет до величины, допускаемой прочностью гильзы. При этом затвор вследствие резкого падения сопротивления будет отброшен назад с относительно большой скоростью.

Более подробное рассмотрение всего процесса показывает, что идеальный механизм полусвободного отпирания дает примерно такие же результаты, как и механизм замедленной отдачи затвора (за исключением, разумеется, того, что при механизме с замедленной отдачей затвор в течение определенного времени остается жестко запертым, тогда как при полусвободном затворе он все время отперт).

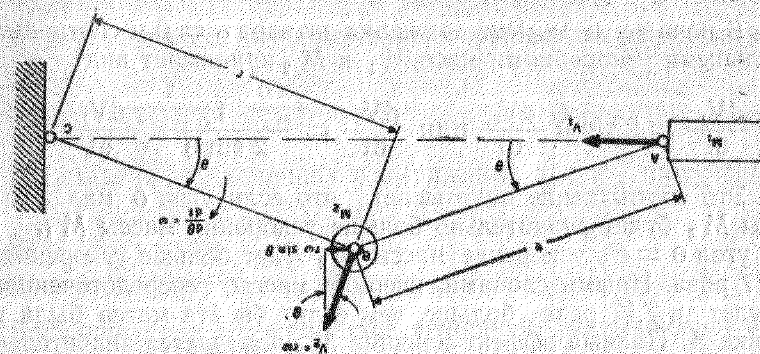
Следует отметить, что для нормальной работы системы с полусвободной отдачей необходима высокая точность выполнения механизма торможения, чтобы все операции проходили точно в соответствии с баллистическим режимом. Нормальная работа оружия и безопасность его эксплуатации могут быть обеспечены, если сопротивление в механизме торможения изменяется точно в течение времени, обусловленного процессом горения порохового заряда. Очевидно, что при этом длина ствола будет иметь очень большое значение, как это имеет место, например, в пулемете Шварцлозе с полусвободным механизмом шарнирного типа.

Если длина ствола несколько больше нормальной, то остаточное давление будет выше в момент подъема звена. В этом случае торможение затвора, смещающегося назад под действием сравнительно высокого остаточного давления, будет недостаточным, отдача затвора резко возрастет и, как следствие этого, возможен разрыв гильзы. Наоборот, если ствол будет короче, остаточное давление может быстро упасть до того, как звено поднимется достаточно высоко. В этом случае торможение будет чрезмерно большим, а отдача недостаточной, и оружие может отказать в работе.

Этот пример показывает, что система с полусвободной отдачей затвора для мощных патронов современного типа должна проектироваться с особой осторожностью и тщательностью. Детали механизма торможения должны быть тщательно обработаны и точно пригнаны, а боеприпасы идеально стабильны по баллистическим характеристикам. Так как механизмом автоматики и особенно механизмом торможения воспринимается высокое давление пороховых газов, все детали их должны изготовляться из высококачественных материалов и подвергаться тщательной термической обработке. Учитывая это, следует признать, что оружие, построенное на принципе полусвободной отдачи, затруднительно в отладке и дорого в изготовлении, в связи с чем этот принцип может быть рекомендован только для таких систем, в которых отдача не слишком велика.

Математический анализ системы

Общий характер влияния приведенной массы механизма торможения может быть рассмотрен при анализе типичного шарнирно-кривошипного звеньевого механизма, представленного на фиг. 45. Звенья этого механизма имеют одинаковую длину r и соединены между собою



Фиг. 45. Соотношение скоростей деталей в звеньевом кривошипно-шарнирном механизме системы с полусвободной отдачей затвора.

шарнирно в точках A, B и C. Для упрощения анализа допустим, что вся масса звеньев сосредоточена в точке B (M_2). Масса затвора обозначена через M_1. Положение звеньев в любой промежуток времени определяется величиной угла θ между звеном BC и направлением движения затвора.

Начальное действие торможения

При вращении плеча BC вокруг точки C масса M_2 перемещается со скоростью $V_2 = r\omega$, где ω —угловая скорость плеча BC в рад/сек. Как указано на схеме (фиг. 41), угол между вектором V_2 и вертикалью равен θ, и. поэтому горизонтальная составляющая скорости V_2, направленная в ту же сторону, что и скорость затвора V_1, равна $r\omega \sin\theta$. Так как звено AB движется с той же угловой скоростью, что и звено BC, скорость затвора V_1 будет выражаться зависимостью

$$V_1 = 2\,r\omega \sin\theta.$$

Дифференцируя это выражение, получим зависимость для определения ускорения затвора:

$$\frac{dV_1}{dt} = 2r\sin\theta\frac{d\omega}{dt} + 2r\omega\cos\theta\frac{d\theta}{dt},$$

$$\text{но}\quad \frac{d\theta}{dt} = \omega \qquad r\frac{d\omega}{dt} = \frac{dV_2}{dt}.$$

$$\text{Тогда}\quad \frac{dV_1}{dt} = 2\sin\theta\frac{dV_2}{dt} + 2r\omega^2\cos\theta.$$

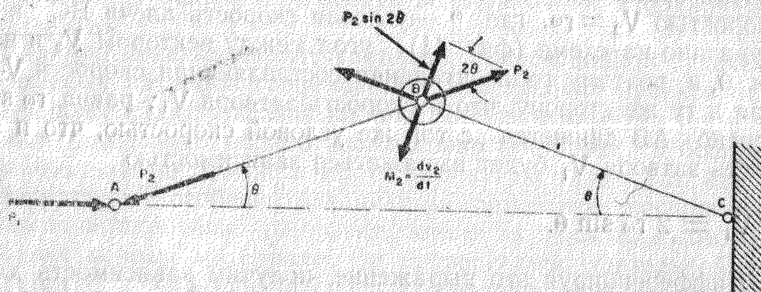
В начальный момент движения затвора $\omega = 0$ и соотношение между начальными ускорениями масс M_1 и M_2 принимает вид

$$\frac{dV_1}{dt} = 2 \sin \theta \frac{dV_2}{dt} \text{ или } \frac{dV_2}{dt} = \frac{1}{2 \sin \theta} \frac{dV_1}{dt}$$

Это соотношение показывает, что если угол θ мал, то ускорение массы M_2 будет значительно больше ускорения массы M_1. **Например,** если угол $\theta = 4^0$, ускорение массы M_2 будет больше ускорения массы M_1 в 7,17 раза. Иными словами, инерция массы, сосредоточенной в точке В, будет в 7,17 раза больше, чем если бы эта масса была приложена в точке А. Полный эффект влияния M_2 получается значительно больше, так как ее воздействие на откатывающийся затвор усиливается кинематикой звеньевого механизма. Определим силу инерции массы M_2, приведенную к откатывающемуся затвору.

Векторная диаграмма сил в звеньевом механизме приведена на фиг. 46. Реакция силы инерции массы M_2 равна $M_2 \frac{dV_2}{dt}$ и направлена перпендикулярно звену ВС. Эта сила воспринимается звеньями ВС и АВ механизма. На звено АВ действует сила

$$P_2 = \frac{M_2 \frac{dv_2}{dt}}{\sin 2\theta}$$



Фиг. 46. Действие реакции инерционных сил в звеньевом механизме.

Взяв горизонтальную составляющую силы P_2, получаем силу P_1 — приведенную к затвору силу инерции массы M_2

$$P_1 = P_2 \cos \theta$$

$$\text{или } P_1 = \frac{M_2 \frac{dV_2}{dt}}{\sin 2\theta} \cos \theta.$$

Как указывалось выше, в момент начала движения затвора

$$\frac{dV_2}{dt} = \frac{1}{2 \sin \theta} \frac{dV_1}{dt}$$

Подставляя эту величину в выражение для P_1, получаем

$$P_1 = \frac{1}{4 \sin^2 \theta} M_2 \cdot \frac{dV_1}{dt}$$

Величина $\frac{1}{4 \sin^2 \theta}$ является функцией, учитывающей кинематику звеньевого механизма для массы M_2 и выражающей в момент начала смещения затвора отношение тормозящего действия массы M_2 звеньевого механизма к величине равной массы, но приложенной к точке А. Например,

$$\text{при } \theta = 4° \quad \frac{1}{4 \sin^2 \theta} = \frac{1}{4 \cdot (.0698)^2} = 51{,}4 ;$$

$$\text{при } \theta = 1° \quad \frac{1}{4 \sin^2 \theta} = \frac{1}{4 (.0175)^2} = 820 ;$$

$$\text{при } \theta = .5° \quad \frac{1}{4 \sin^2 \theta} = \frac{1}{4 (.00873)^2} = 3280 .$$

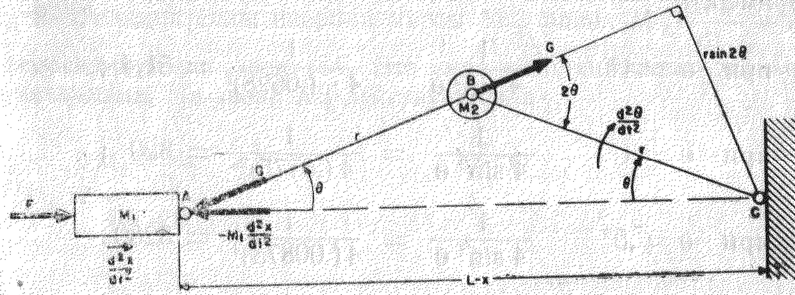
Следует обратить внимание на то, что с уменьшением угла θ, величина приведенной массы значительно увеличивается. Так, например, если угол $\theta = .5$, то масса, равная 100 *г* и расположенная в тчке В, будет иметь тормозящий (начальный) эффект 328 *кг*, приложенный в точке А.

Как показывает проведенный анализ, применяя шарнирно-кривошипный механизм, можно добиться произвольно большого торможения только за счет уменьшения начального угла. Однако практически этот угол может быть уменьшен лишь до какой-то определенной величины. Если угол очень мал, то для правильной работы механизма его детали должны быть изготовлены с исключительно высокой точностью. При малых величинах угла на все звенья механизма будут действовать огромные силы и деформации, избежать которые будет очень трудно, могут вызвать нарушение взаимодействия деталей тормозящего механизма. Возникнут люфты, в результате чего работа всей системы значительно отклонится от идеальных условий взаимодействия деталей механизма. На практике начальная величина угла θ не должна быть меньше 5-10^0.

2. Анализ движения затвора

Для анализа движения затвора в системе, построенной на принципе полусвободной отдачи затвора, с тормозящим устройством шарнирно-кривошипного звеньевого типа непригодны методы, применявшиеся при исследовании движения затвора в системе со свободным откатом. Это объясняется тем, что действие массы звеньев механизма не постоянно, а изменяется при вращении звеньев, в результате чего движение затвора не может быть определено из простого соотношения между импульсом давления пороховых газов в канале ствола и количеством движения деталей автоматики.

Дифференциальное уравнение, выражающее условия свободного отката в звеньевом механизме, может быть составлено на основании фиг. 47, где F—сила, действующая на затвор и зависящая от величины давления пороховых газов в любой промежуток времени. Если учиты-



Фиг. 47. Расположение сил в шарнирно-кривошипном звеньевом механизме.

вать массу M_2 и плечо BC, наклоненное под углом θ, вращающий момент, возникающий от действия силы P_2, приложенной к массе M_1 на плече AB, будет равен моменту инерции рычага BC, умноженному на угловое ускорение этого рычага относительно точки C. Таким образом,

$$P_2 r \sin 2\theta = I \frac{d^2\theta}{dt^2}.$$

Так как предполагается, что вся масса звеньевого механизма сосредоточена в точке B, момент инерции выразится уравнением

$$I = M_2 r^2.$$

Делая подстановку и решая уравнение относительно P_2, имеем

$$P_2 = \frac{M_2 r}{\sin 2\theta} \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

Рассматривая условия равновесия горизонтальных сил, действующих на затвор в точке A, получаем уравнение

$$F = M_1 \frac{d^2x}{dt^2} + P_2 \cos\theta.$$

Подставляя в это уравнение выражение для P_2, полученное ранее, имеем

$$F = M_1 \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{M_2 r}{2\sin 2\theta} \frac{d^2\theta}{dt^2} \cos\theta,$$

но так как

$$\sin 2\theta = 2 \sin\theta \cos\theta,$$

$$F = M_1 \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{M_2 r}{2\sin\theta} \frac{d^2\theta}{dt^2}.$$

От угла θ в этом выражении можно избавиться следующим образом. Если L — начальное расстояние между точками A и C, а x — линейное перемещение затвора вдоль линии AC, то

$$\theta = \arccos \frac{L-x}{2r}$$

Дифференцируем это выражение, чтобы получить величину

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\frac{dx}{dt}}{2r\sqrt{1-\left(\frac{L-x}{2r}\right)^2}} = \frac{\frac{dx}{dt}}{\sqrt{4r^2-(L-x)^2}}$$

Вторично дифференцируем, чтобы получить величину $\frac{d^2\theta}{dt^2}$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{\sqrt{4r^2-(L-x)^2}\,\frac{d^2x}{dt^2} - \frac{L-x}{\sqrt{4r^2-(L-x)^2}}\left(\frac{dx}{dt}\right)^2}{[4r^2-(L-x)^2]}$$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{[4r^2-(L-x)^2]\,\frac{d^2x}{dt^2} - (L-x)\left(\frac{dx}{dt}\right)^2}{[4r^2-(L-x)^2]^{3/2}}.$$

так как

$$\sin\theta = \sqrt{1-\cos^2\theta} = \sqrt{1-\left(\frac{L-x}{2r}\right)^2} = \frac{1}{2r}\sqrt{4r^2-(L-x)^2}$$

Подставляя в дифференциальное уравнение выражение для $\frac{d^2\theta}{dt^2}$, получаем зависимость

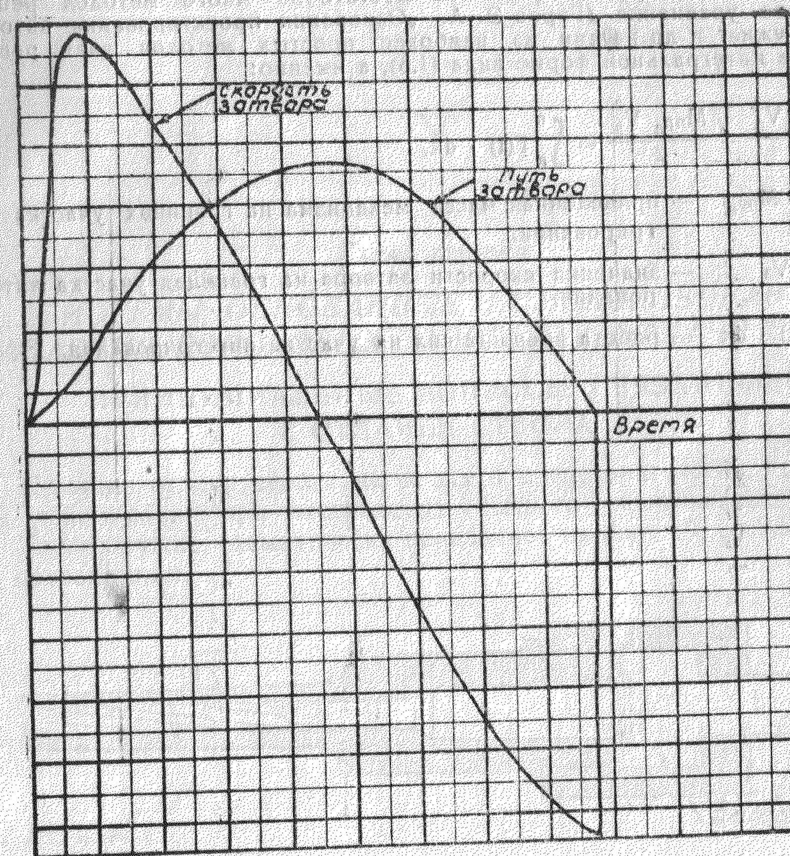
$$F = M_1\frac{d^2x}{dt^2} + M_2 r^2\left\{\frac{\left[4r^2-(L-x)^2\frac{d^2x}{dt^2}\right]-(L-x)\left(\frac{dx}{dt}\right)^2}{[4r^2-(L-x)^2]^2}\right\}.$$

К сожалению, решение этого уравнения не может быть выражено в конечной форме, т. е. в элементарных функциях времени. Аналогичное положение встречается при решении уравнения простого маятника, когда соотношение между перемещением головки маятника и временем определяется интегралом, известным под названием эллиптического, который решается методом бесконечных рядов или при помощи специальных таблиц.

Кроме того, уравнение полученное для шарнирно-кривошипного затворного механизма дополнительно усложняется тем, что величина F является эмпирической функцией времени, и поэтому любая попытка добиться решения прямыми методами приводит к крайне сложным манипуляциям.

Возможно, что лучшим методом решения проблемы является подбор значений M_1 и M_2 и L, после чего при помощи кривой, выражающей изменение величины F по времени, интеграл определяется одним из стандартных способов численного интегрирования. Если учесть форму дифференциального уравнения и тот факт, что величина F изменяется по времени, то даже такой, сравнительно простой, метод является слишком трудоемким для того, чтобы излагать его в настоящей работе. Поэтому определение графиков пути и скорости по времени нами опущено.

Что же касается общего метода построения для систем с полусвободной отдачей затвора (фиг. 48) графиков пути и скорости по времени для всего цикла автоматики, то используемые при этом приемы аналогичны применяемым для системы с замедленной отдачей затвора.



Фиг. 48. График пути и скорости движения затвора для системы с полусвободной отдачей затвора.

Примечание редакции. Вводя обозначения

$$M_{пр} = M_1 + M_2\frac{r^2}{4r^2-(L-x)^2}$$

и учитывая, что

$$\frac{r^2(L-x)}{[4r^2-(L-x)^2]^2} = \frac{1}{2}\frac{dM_{пр}}{dx},$$

полученное выше дифференциальное уравнение можно представить в виде

$$M_{пр}\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{1}{2}\frac{dM_{пр}}{dx}\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 = F(t)$$

В нашей литературе разработано достаточно много методов решения приведенного уравнения (Горов Э. А. „Основания проектирования автоматического оружия" и др.) Один из наиболее простых методов дает решение уравнения в интегральной форме вида (1.6), а именно:

$$\frac{M_{пр_в} V_в^2}{2} - \frac{M_{пр_а} V_а^2}{2} = \int_а^в F(t) \cdot dx,$$

где $M_{пр_а}$, $M_{пр_в}$ — приведенная масса механизма на границах участка интегрирования.

$V_в$, $V_а$ — значения скорости затвора на границах участка интегрирования.

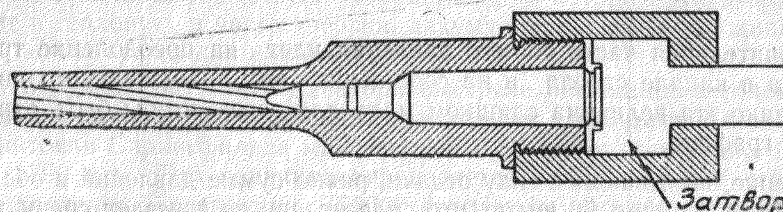
$\int_а^в F(t) \cdot dx$ — работа внешних сил на участке интегрирования.

Глава вторая

СИСТЕМЫ, ОСНОВАННЫЕ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДАВЛЕНИЯ ПОРОХОВЫХ ГАЗОВ ДЛЯ ОТДАЧИ СТВОЛА

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ, СВЯЗАННЫЕ С ОТДАЧЕЙ СТВОЛА

Принцип отдачи ствола легче всего представить себе, рассмотрев силы, действующие при выстреле из обычного неавтоматического оружия. Такое оружие, схематически показанное на фиг. 49, состоит из ствола с патронником.

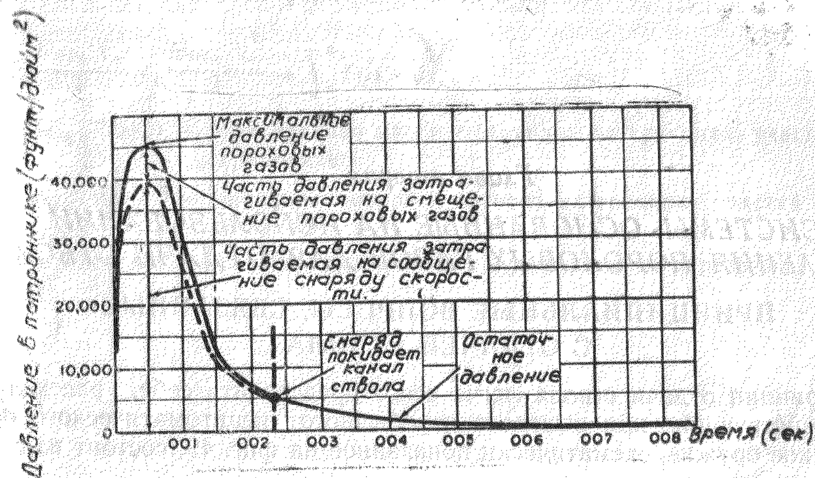


Фиг. 49. Принципиальная схема оружия простейшего типа.

Затвор жестко запирает канал ствола после досылки патрона в патронник, обеспечивая тем самым гильзе прочную опору и не позволяя ей выйти из патронника под давлением пороховых газов.

При выстреле давление пороховых газов в канале ствола толкает снаряд. По мере перемещения снаряда вдоль канала ствола центр тяжести пороховых газов смещается в сторону выстрела. Давление пороховых газов, перемещающее газы и снаряд по каналу ствола, одновременно действует и на его казенную часть, создавая усилие реакции (которое стремится переместить все оружие назад), т. е. силу отдачи оружия. Величина этой силы в данный промежуток времени зависит от давления в патроннике. На фиг. 50 показано, как изменяется по времени давление пороховых газов в патроннике штатной 20-*мм* пушки с длиной нарезной части ствола 4.3 фута (1307 *мм*). Отрезки, на которые разделен график, иллюстрируют распределение давления, расходуемого

на сообщение снаряду начальной скорости и на перемещение пороховых газов.



Фиг. 50. Изменение давления пороховых газов в патроннике по времени.

Незначительная часть общего давления идет на преодоление трения снаряда в канале ствола и на сообщение ему вращательного движения. Однако эта величина слишком мала для того, чтобы быть отраженной на графике.

Давление, вызывающее силу отдачи, равно сумме давлений в обеих частях графика. Из фиг. 50 видно, что сила отдачи не исчезает сразу же после вылета снаряда из канала ствола, т. е. через .00234 *сек.* после начала горения заряда, а остается до конца периода последействия.

Действие силы отдачи на оружие всецело зависит от того, как оружие установлено на опоре. Если мы предположим, что оно установлено так, что может смещаться назад, не испытывая в период действия пороховых газов, т. е. в течение .008 *сек.*, трения или иного сопротивления, то оружие получает количество движения, равное сумме количеств движения снаряда и пороховых газов, но противоположного знака.

Скорость перемещения оружия зависит от его массы, причем чем меньше масса, тем выше скорость. В конце периода последействия оружие приобретает максимальную скорость. Поскольку мы допустили, что при движении оружие не встречает никаких внешних сопротивлений, оно продолжает двигаться назад с достигнутой скоростью. Это называется свободным откатом.

Откат ствола и ствольной коробки любого реального оружия ограничивается самыми разнообразными механизмами, и этим достигается замедленный или торможенный откат. В некоторых системах эффект отдачи является неизбежным злом, с которым приходится мириться. Основным источником неприятностей, возникающих в этом случае, является большая величина усилия отдачи, вызываемая применением современных мощных патронов. Например, максимальное усилие отдачи в современной 16-дюймовой пушке при давлении в канале ствола порядка 38000 фунт/дюйм² (2700 *кг/см²*) достигает $8 \cdot 10^6$ фунтов (3620 *т*). Даже в 20-*мм* пушке максимальное усилие отдачи может дойти до 22000 фунтов (10 *т*). Можно создать жесткую установку, способную выдержать такое усилие, но она будет слишком тяжела и громоздка. Поэтому оружию необходимо обеспечить некоторый откат во время отдачи и даже спустя некоторое время после прекращения действия пороховых газов. Это позволит амортизировать оружие с помощью сравнительно небольших сил торможения на достаточно большом пути движения.

За период действия пороховых газов оружие приобретает некоторый запас кинетической энергии, который необходимо поглотить. Поэтому многие системы, особенно крупного калибра, размещаются на направляющих и снабжаются тормозами отката и откатниками, обеспечивающими поглощение энергии отдачи. Значительная часть энергии отдачи поглощается тормозным устройством, в котором эта энергия переходит в тепловую, а часть энергии, аккумулированной в пружинах откатника, используется для наката оружия.

В ручном оружии отдача при выстреле поглощается силой, приложенной к оружию со стороны плеча стрелка. Например, при выстреле из винтовки Спрингфильда максимальное усилие отдачи равно 3700 фунтов (1700 *кг*). Эта величина определяется произведением максимального давления в патроннике (52000 фунт/дюйм²) на площадь поперечного сечения канала ствола $\left(\frac{3.14 \cdot .3^2}{4}\right.$ дюйм$^2\left.\right)$. Это усилие вызывает смещение оружия назад, и плечо стрелка ощущает толчок. Плечо действует как тормоз отката, амортизирующий кинетическую энергию отдачи на пути, равном примерно 2.0-3.0 дюйма (50-75 *мм*). Если допустить, что винтовка перемещается в среднем на 2,5 дюйма (62,5 *мм*), то среднее усилие, с которым приклад действует на плечо стрелка, должно составить примерно 60 фунтов (27 *кг*). При попытке ограничить перемещение винтовки до .2 дюйма среднее усилие возрастет до 720 фунтов (327 *кг*).

Итак, в неавтоматическом оружии отдача может рассматриваться как нежелательное явление, так как вызываемые ею силы должны поглощаться при каждом выстреле. Но в автоматическом оружии эти же самые силы являются источником энергии, приводящей в действие механизм автоматики. Пулеметы и другие виды автоматического оружия, использующие эту энергию, принадлежат к системам автоматики, основанным на использовании импульса отдачи.

Количество энергии, получаемое при отдаче оружия, зависит от баллистических характеристик патрона и от веса подвижных частей оружия.

Применение более мощного патрона увеличивает импульс I, приложенный к снаряду и к пороховым газам, и реакцию, приложенную к откатным частям. В результате количество движения откатных частей увеличивается. Однако скорость отката зависит от массы подвижных частей: чем больше их масса, тем меньше скорость. Кинетическая энергия тела прямо пропорциональна его массе и квадрату скорости. Поскольку максимальная скорость отката подвижных частей равна

$$V_{r_f} = \frac{I}{M_r},$$

то максимальную величину кинетической энергии подвижных частей можно определить по зависимости

$$E_{r_f} = \frac{1}{2}\frac{I^2}{M_r},$$

т. е. запас кинетической энергии подвижных частей обратно пропорционален их массе и прямо пропорционален квадрату импульса снаряда и порохового заряда.

Вся кинетическая энергия, передаваемая подвижным частям, может быть сообщена им в течение .01 *сек.*, т. е. за время действия давления пороховых газов. После этого подвижные детали продолжают двигаться по инерции, и их энергия передается другим механизмам оружия для выполнения ряда операций, необходимых при автоматической стрельбе. В различных системах оружия, работающего по принципу отдачи ствола, эта энергия может быть использована по-разному. Такие системы будут рассмотрены и проанализированы ниже.

II. ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ, РАБОТАЮЩИХ НА ПРИНЦИПЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТДАЧИ

В любой системе, работающей с использованием энергии отдачи в момент выстрела, затвор жестко запирает канал ствола, и положение ствола и затвора в коробке автоматики обеспечивает при откате их перемещение относительно коробки. Выстрел происходит при запертом стволе (ствол сцеплен с затвором). Под действием пороховых газов ствол с затвором откатывается назад. В одних системах приобретаемая при этом энергия используется для обеспечения всего цикла работы автоматики, а в других расходуется только для выполнения определенных операций в автоматическом цикле, т. е. лишь дополняет какой-то другой основной источник энергии.

Характерной особенностью системы, использующей энергию отдачи, является то, что энергия, необходимая для приведения в действие различных механизмов автоматики, передается им от движущегося ствола и сцепленного с ним затвора.

Любая система, в которой движение затвора, сцепленного со стволом, используется для работы автоматики, может быть названа системой, работающей на принципе использования отдачи.

Некоторые системы, работающие на принципе отвода пороховых газов, спроектированы так, что при запертом затворе они также откатываются назад, но этот откат вызван только стремлением снизить усилие на цапфах, крепящих оружие на установке. Поскольку при этом энергия отдачи не используется для приведения в действие механизма автоматики, такие системы не могут классифицироваться как системы, работающие на принципе использования энергии отдачи.

В системах, которые работают на принципе отдачи, затвор жестко соединен со стволом в течение всего периода действия давления пороховых газов. В некоторых системах, работающих с использованием отдачи, отпирание канала ствола происходит в момент, когда остаточное давление еще не сравнялось с атмосферным. Поэтому в таких системах свободная отдача затвора является дополнительным источником энергии.

В системах, работающих только на принципе использования отдачи, затвор остается запертым в течение всего периода последействия. При проектировании таких систем, естественно, не возникает проблем, встречающихся при проектировании систем с отдачей затвора и связанных с перемещением гильз, находящихся под давлением пороховых газов. Необходимость в смазке патронов также отпадает*.

Применение отдачи как основного источника энергии для автоматической системы снимает вопрос о правильном подборе величины перемещения гильзы; основной проблемой, стоящей перед конструктором, является наиболее рациональное использование энергии отдачи для приведения в действие механизмов автоматической системы.

III. ОБРАЗЦЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ ЭНЕРГИЮ ОТДАЧИ СТВОЛА

Количество различных автоматических систем, использующих энергию отдачи для приведения в действие механизмов автоматики, очень велико, и подробное их рассмотрение выявило бы большое разнообразие механизмов, преобразующих энергию отдачи ствола. Однако все эти системы можно разделить на две основных группы:

1) системы с длинным откатом ствола;
2) системы с коротким откатом ствола.

Системы с длинным откатом ствола характеризуются тем, что в них энергия, необходимая для работы автоматики, передается на вспомогательные механизмы при длине отката, большей чем длина патрона,

*). Разумеется, это касается только таких систем, которые имеют правильно подобранный зеркальный зазор. Если зеркальный зазор чрезмерно велик, может произойти обрыв гильзы.

используемого в данной системе. В течение всего отката ствола затвор находится в запертом состоянии и сцеплен со стволом. В конце отката затвор и ствол расцепляются, и затвор остается отпертым на шептале в крайнем заднем положении. Ствол накатывается, оставляя стреляную гильзу в лапках затвора. На определенном участке хода ствола гильза удаляется из коробки автоматики с помощью механизма отражения. Как только ствол сместится вперед на расстояние, достаточное для производства подачи, и перед тем, как он достигнет своего крайнего переднего положения, затвор снимается с шептала. Затем затвор начинает накатываться, обеспечивая досылку патрона в патронник, цикл заканчивается сцеплением затвора со стволом и запиранием патрона в патроннике.

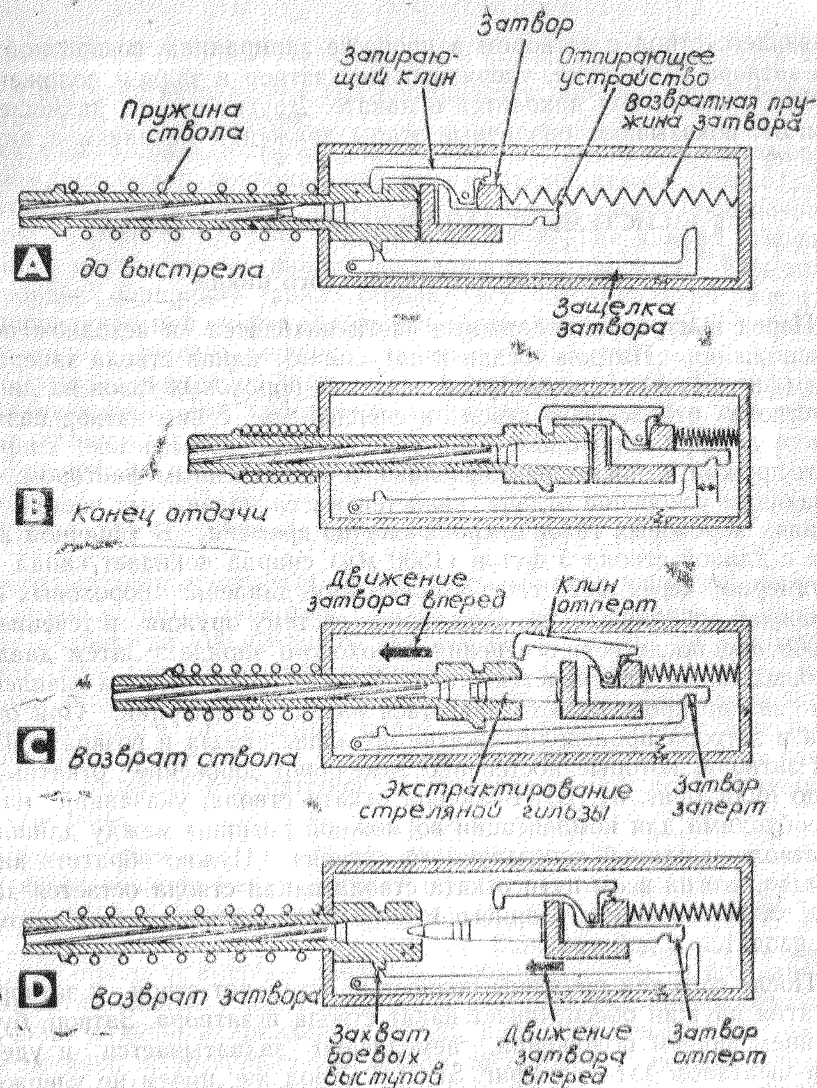
В системе с коротким откатом ствола затвор остается запертым и сцепленным со стволом лишь на некотором участке отката. После отпирания затвора ствол может в течение известного времени двигаться назад вместе с затвором, а затем останавливается. Затвор продолжает двигаться назад за счет той энергии, которую он получил в момент отпирания, или за счет дополнительной энергии, получаемой от ускорительного механизма, передающего затвору часть энергии ствола. В любом случае откат затвора продолжается до тех пор пока не будет обеспечено достаточное расстояние, необходимое для подачи очередного патрона. После этого затвор начинает перемещаться вперед и запирает в патроннике досланный им патрон.

В одних системах затвор досылает ствол в крайнее переднее положение при накате, в других накат затвора происходит независимо от наката ствола, и ствол приходит в переднее положение самостоятельно.

Ниже описываются обе системы автоматики и дается анализ работы основных механизмов автоматики в последовательности, соответствующей циклу автоматики. Как и в других аналогичных случаях, изложенных в настоящем руководстве, анализ касается только работы механизмов и определения основных параметров автоматической системы.

Поскольку анализ системы с длинным откатом ствола относительно прост, такая система будет рассмотрена в первую очередь. Правда, существующие системы оружия, в которых использован этот принцип автоматики, далеко не так просты, если рассматривать их с точки зрения кинематической сложности механизмов (механизма блокировки движения ствола и затвора, механизма принудительного выключения шептала, защелок и др.). Однако все эти механические усложнения не связаны с непосредственным анализом движения ствола и затвора и с силами, возникающими в процессе отдачи, и поэтому не подлежат рассмотрению в настоящей работе.

На фиг. 51, А схематически изображена система с длинным откатом ствола. Элементы этой системы состоят из затвора, механизма,



Фиг. 51. Схема построения системы, основанной на использовании отдачи с длинным ходом ствола.

A — начало цикла автоматики;
B — конец отката ствола;
C — накат ствола;
D — накат затвора.

сцепляющего ствол с затвором в процессе запирания, возвратной пружины затвора и защелки, удерживающей затвор в заднем положении в то время, когда ствол находится в накате. Другие схемы, размещенные на фиг.51, показывают различные этапы движения механизмов автоматики.

§ 1. СИСТЕМЫ С ДЛИННЫМ ОТКАТОМ СТВОЛА

Описание автоматического цикла

Перед выстрелом подвижные части находятся в исходном переднем положении. Патрон дослан в патронник, канал ствола заперт затвором (фиг. 51, А). При выстреле давление пороховых газов на дно канала ствола отбрасывает ствол и сцепленный с ним затвор назад. В процессе дествия пороховых газов торможение, вызываемое сопротивлением пружин, относительно невелико, и единственным фактором, ограничивающим ускорение отдачи, является масса подвижных частей. Сила действия пороховых газов ограничена по времени. В типичной 20-*мм* пушке с длиной ствола 5 футов (1500 *мм*) снаряд покидает канал ствола примерно через .0023 *сек*, а остаточное давление пороховых газов продолжает действовать на подвижную систему оружия в течение еще .008-.009 *сек*, после воспламенения порохового заряда. Затем давление пороховых газов сравнивается с атмосферным, но ствол и сцепленный с ним затвор продолжают двигаться назад по инерции. При откате ствола и затвора происходит сжатие пружины ствола и возвратной пружины затвора, которые постепенно замедляют движение откатных частей до нуля (фиг. 51, В). Величина отката ствола, указанная на схеме, необходима для компенсации возможной разницы между длиной отката ствола и длиной используемого патрона. Нужно обратить внимание на то, что на всем пути отката ствола канал ствола остается запертым и, за исключением ударного механизма, все механизмы автоматики не вводятся в действие.

После того как пружины полностью остановят ствол и затвор, сила сжатия пружин обеспечивает накат ствола и затвора. Затвор, будучи в крайнем заднем положении, немедленно захватывается и удерживается шепталом затвора (фиг. 51,С). Ствол же, ничем не удерживаемый, движется вперед под действием пружины. При движении ствола вперед сначала отпирается затвор, а затем извлекается и отражается гильза. Подача очередного патрона не может произойти до тех пор, пока ствол не займет своего крайнего переднего положения или не будет близок к нему, так как именно в этот момент расстояние между затвором и казенной частью ствола будет достаточным для обеспечения подачи. Перед тем как ствол займет свое крайнее переднее положение, вся потенциальная энергия, аккумулированная в пружине ствола при отдаче, переходит в кинетическую энергию (за исключением неизбежных потерь на отпирание, извлечение гильзы, ее отражение и на преодоление сил трения). Поэтому ствол движется вперед со значительной скоростью, и его кинетическая энергия поглощается при помощи буферного устройства или просто ударом.

Как только ствол достигает своего крайнего переднего положения, он освобождает затвор, приводя в действие шептало затвора (фиг. 51, Д). После этого пружина затвора начинает накатывать затвор, обеспечивая досылание очередного патрона в патронник, запирание канала ствола и приведение в действие механизма воспламенения капсюля. Как только произойдет запирание канала ствола, вся потенциальная энергия, аккумулированная при откате в возвратной пружине затвора, перейдет в кинетическую энергию затвора (за исключением потерь на подачу, досылку патрона, запирание затвора и приведение в действие механизма воспламенения). Эта кинетическая энергия поглощается при ударе в момент остановки затвора.

В дальнейшем цикл автоматики повторяется.

Анализ работы системы

Поскольку, как отмечалось выше, в системах с длинным откатом ствола затвор остается запертым до тех пор, пока давление в канале ствола не упадет до атмосферного, особых затруднений, связанных со смещением гильзы под действием пороховых газов, возникнуть не может, и основной проблемой для конструктора является использование энергии откатывающихся подвижных частей автоматики. Метод использования энергии отката в системе с длинным откатом ствола зависит главным образом от мощности патрона и от требований, предъявляемых к темпу стрельбы.

Система с длинным откатом ствола имеет ряд преимуществ в отношении использования энергии отдачи и особенно выгодна для оружия крупного калибра, в котором применяются патроны с высокими баллистическими характеристиками. В таких системах большая площадь поперечного сечения ствола и высокое давление пороховых газов в его канале вызывают значительные усилия отдачи. В системах с длинным откатом ствола усилие отдачи, направленное назад, вызывает совместный откат ствола и затвора, и, поскольку эти детали достаточно тяжелы, энергия отдачи бывает относительно небольшой. Так как энергия отдачи поглощается более или менее равномерно на сравнительно большом пути отката, силы, используемые для поглощения этой энергии, не должны быть чрезмерно большими, что позволяет получить на цапфах установки сравнительно малые усилия.

Хотя схема с длинным откатом ствола имеет известные преимущества при использовании ее в крупнокалиберных системах с высокими баллистическими характеристиками, ее применение в оружии, от которого требуется высокий темп стрельбы, затруднительно. Основным недостатком системы с длинным откатом ствола является то, что последовательность проведения различных операций автоматического цикла

в этой системе не допускает сокращения времени цикла. Общее время цикла сильно увеличивается, так как ствол остается запертым в течение всего отката, что замедляет процессы отпирания, экстракции гильзы, ее отражения и т. д. После отпирания значительное время теряется на извлечение стреляной гильзы. Отражение гильзы и подача очередного патрона также задерживаются до прихода ствола в крайнее переднее положение, и лишь после этого затвор начинает накатываться. Все эти потери в системе с длинным откатом ствола неизбежны, и поэтому оружие с длинным откатом ствола отличается очень малым темпом стрельбы.

Когда речь идет о темпе стрельбы, термины ***низкий* и *высокий*** темп следует понимать как относительные и всецело зависящие от калибра оружия. Например, темп, считающийся очень низким для 20-*мм* авиационной пушки, будет исключительно высоким для крупнокалиберной пушки. В более широком смысле слова значение высокого и низкого темпа определяется видом цели для того или иного типа оружия. Так, для скоротечного воздушного боя темп стрельбы в 1000 ***выстр/мин.*** считается в настоящее время недостаточно высоким вследствие скоротечности боя и высоких скоростей целей. Для таких же целей, как морские суда, танки и инженерные сооружения, столь высокого темпа не требуется, так как выгоднее послать в цель сравнительно небольшое количество крупных снарядов, чем осыпать ее множеством более мелких и менее эффективных снарядов.

Если учесть преимущество схемы с длинным откатом в отношении усилия отдачи, то ее применение вполне реально для крупнокалиберных систем. Недостатки этой схемы в отношении темпа стрельбы становятся очевидными только при малом калибре оружия. В таких системах величина отката подвижных частей в большей или меньшей степени определяется длиной патрона. Поэтому единственным путем повышения темпа стрельбы систем с длинным откатом ствола является увеличение скоростей отката и наката ствола и затвора в пределах практически допустимых величин. Поэтому при анализе оружия относительно малого калибра с длинным откатом ствола основное внимание следует уделять возможностям получения высоких скоростей ствола и затвора.

Применяя патроны специального типа, следует учитывать, что скорость подвижных частей зависит от их веса. При заданных баллистических характеристиках импульс пороховых газов есть величина вполне определенная и от нее, в конечном счете, зависит количество движения частей автоматики. Иными словами, это количество движения также является некоторой конечной величиной, определяемой характеристиками патрона. Величина скорости отдачи, соответствующая этому количеству движения, обратно пропорциональна весу откатных частей, и ее максимальное значение зависит от этого веса. Таким образом, чтобы получить высокую скорость отдачи, нужно делать подвижные части по возможности более легким.

К сожалению, облегчение веса подвижных частей затруднено. Для того чтобы ствол, затвор и другие подвижные части могли выполнять

свои функции и выдерживать нагрузки, которым они подвергаются в процессе работы, эти детали должны быть достаточно жесткими и массивными. Их размеры и вес зависят от величины порохового заряда: чем мощнее патрон, тем тяжелее должны быть подвижные части. Поскольку уменьшение веса подвижных частей ограничено, постольку ограничено и увеличение той скорсти, с которой они могут двигаться в откат.

Эти ограничения можно иллюстрировать на примере 20-*мм* пушки, ствол и ствольная коробка которой весят не менее 35 фунтов (15,8 *кг*), при максимальном давлении пороховых газов 45000 фунт/дюйм^2 (3160 *кг/см*^{2}). Если вес затвора с замком и ударным механизмом равен 5.5-8.0 фунтов, а вес массы пружин 5.5-8.0 фунтов, то общий минимальный вес будет равен 50.0 фунтов. Количество движения при отдаче для штатного патрона равно примерно 35.0 фунт.сек. Поделив эту величину на массу подвижных частей, мы получим скорость, около 22,5 фут/сек (7 *м/сек*), которая и будет максимальной скоростью отдачи. Нужно учитывать, что эта скорость в первом приближении является максимальной скоростью, которую можно вообще получить в данной системе, так как попытка увеличить эту скорость за счет уменьшения веса деталей приведет к резкому снижению их живучести.

Таким образом, конструктор, задавшийся целью создать пушку, основанную только на принципе длинного отката ствола, должен остановиться на максимальной скорости отката, равной 22.5 *фут/сек*. Следует помнить, что ствол должен откатиться назад и накатиться вперед, прежде чем затвор начнет свое движение вперед. Для обеспечения подачи очередного патрона путь отката ствола 20-*мм* пушки должен быть равен .65 $\div$ 1 футу (200-300 *мм*). Следовательно, путь ствола за один цикл автоматики должен составить 1.3 $\div$ 2 фута (400-600 *мм*). Если даже допустить, что ствол будет проходить весь этот путь со скоростью 22.5 *фут/сек*, а временем наката затвора пренебречь, то и в этом случае каждый цикл автоматики должен длиться .089 *сек.*, что соответствует темпу стрельбы порядка 675-680 ***выстр/мин.*** Если же принять во внимание время наката затвора и учесть, что средняя скорость движения ствола будет намного меньше, то можно рассчитывать лишь на темп стрельбы порядка 300-500 ***выстр/мин.*** При современных тактико-технических требованиях, предъявляемых к авиационному оружию калибра 20-*мм*, такой темп стрельбы не может быть признан удовлетворительным.

Из всего сказанного ясно, что для получения темпа стрельбы даже порядка 500 ***выстр/мин.*** на системе с длинным откатом ствола, конструктор обязан строго учитывать все имеющиеся у него ресурсы и выполнить следующие требования:

1. Для обеспечения высокой начальной скорости отката подвижные части должны выполняться более легкими. При этом необходимо учитывать требования прочности, жесткости и живучести.

2. Величина отката не должна быть больше минимальной величины, необходимой для обеспечения подачи (определяется длиной применяемого патрона).

3. Механизмы оружия должны быть спроектированы так, чтобы время работы отдельных механизмов было минимальным.

4. В оружии небольшого калибра вместо применения сильной ствольной пружины, рассчитанной на поглощение всей энергии ствола во время отката, достаточно выбрать самую легкую пружину, рассчитанную только на удержание ствола в крайнем переднем положении. Этим обеспечивается минимальное торможение ствола при откате и минимальное время отката ствола и затвора. Накат подвижных частей в этом случае можно обеспечить за счет отскока ствола, откатившегося в крайнее заднее положение, от буфера повышенной жесткости. Хотя с помощью этого устройства можно добиться высоких скоростей отката, тем не менее надо учесть, что действие буфера может вызвать сравнительно высокие ударные нагрузки. Кроме того, коэффициент восстановления буферного механизма может оказаться недостаточным, что приведет к увеличению времени наката ствола и, таким образом, сведет на нет экономию времени полученную при откате. Если преимущества буферного механизма в проектируемой системе будут казаться сомнительными, то следует заранее отказаться от него в пользу пружины обычного типа.

5. Выбор ствольной и затворной пружин должен производиться с расчетом предельного уменьшения времени наката (расчеты приводятся ниже).

6. Следует учесть, что некоторое увеличение темпа стрельбы может быть достигнуто за счет применения так называемого усилителя отдачи. (Усилитель отдачи — устройство, использующее остаточное давление пороховых газов на дульный срез ствола и усиливающее его при помощи специального надульника, укрепленного на кожухе ствола — способствует увеличению скорости отката ствола).

Все перечисленные меры, направленные на получение максимального темпа стрельбы систем с длинным откатом ствола, не могут существенно увеличить этот темп в оружии малого калибра.

Недостатки конструкции, вызываемые длинным ходом тяжелого ствола, и сложность механизма объясняют тот факт, что до сих пор не удалось создать удачной системы современного типа с длинным откатом ствола для оружия калибра 20 *мм* и меньше.

Что же касается оружия более крупных калибров, где принцип работы автоматики с длинным откатом ствола был применен с большим успехом, то, очевидно, именно большая энергия отдачи заставила конструкторов закрыть глаза на отмеченные выше недостатки системы. В этих системах избыток энергии отдачи настолько велик, что необходимо принимать все меры к его устранению. Таким образом, здесь подход к решению задачи совершенно иной: откатные части делают по возможности более тяжелыми, тормоза отдачи и буферные устройства рассчитывают на максимальное поглощение энергии отдачи, ход отката ствола делают как можно длиннее и нередко применяют дульные тормоза.

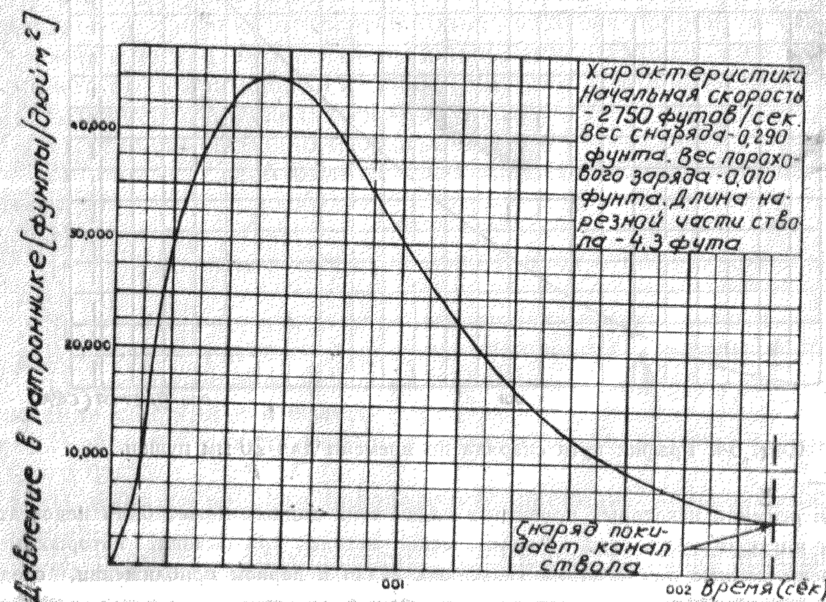
Во всяком случае система с длинным ходом ствола более пригодна для образцов с большими усилиями отдачи, чем для малокалиберного оружия с высоким темпом стрельбы. Если тактико-техническими характеристиками предусматривается высокий темп стрельбы, и не нужно опасаться больших усилий отдачи, то выгоднее применить любую другую систему автоматики, но не систему с длинным откатом ствола.

Приводимый ниже математический анализ системы автоматики с длинным откатом ствола проведен на примере 20-*мм* пушки. Хотя такая система не является идеальной для этого калибра, мы выбрали 20-*мм* пушку для того, чтобы сравнить результаты анализа системы автоматики с длинным откатом ствола с результатами анализа других автоматических систем, в которых также использованы баллистические характеристики 20-*мм* патрона.

Математический анализ системы

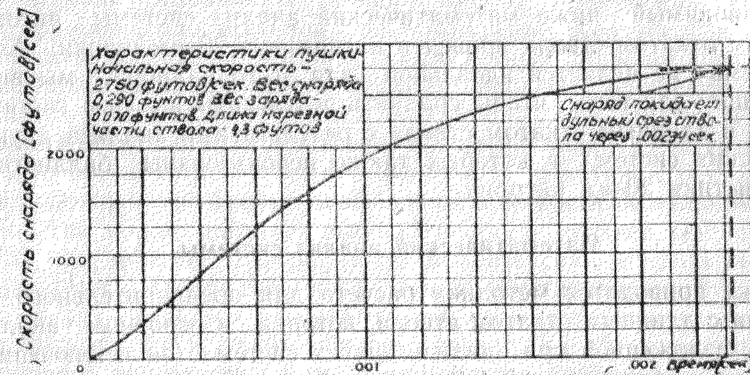
Ниже приводится методика расчета для предварительного анализа оружия с длинным откатом ствола, которая в основном аналогична методике, изложенной при анализе других систем (за исключением изменений, вызванных специфическими особенностями системы с длинным откатом ствола). Как и при анализе других систем, здесь не обсуждаются методы проектирования оружия и выбор тех или иных конструкций его механизмов, а также не приводится расчет сил трения и потерь, вызываемых затратой энергии подвижных частей автоматики на приведение в действие вспомогательных механизмов: замка затвора, механизма подачи, стреляющего механизма, механизма отражения и т. д.

Настоящий анализ проводится на примере конкретного патрона с известными характеристиками, причем заданными считаются начальная

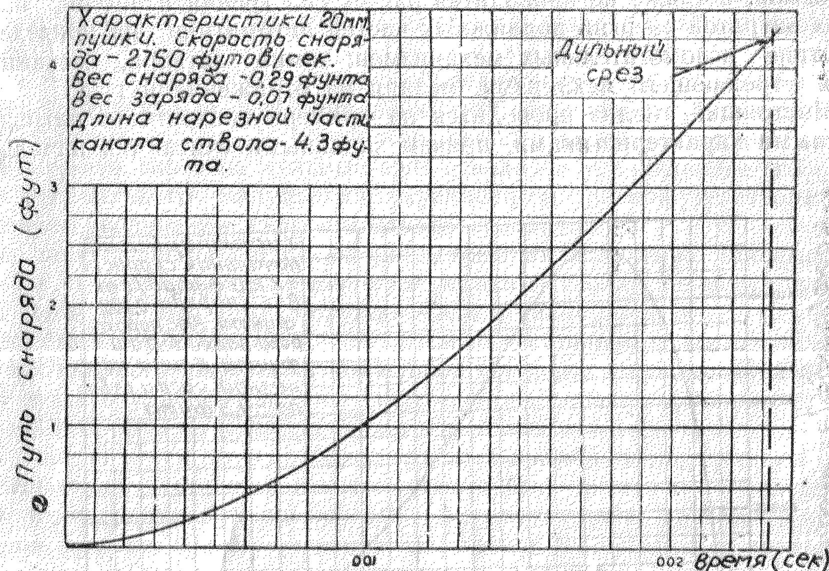


Фиг. 52. График давления пороховых газов по времени в патроннике 20-мм пушки.

скорость снаряда и длина нарезной части ствола. Кроме того, принимаются известными все необходимые для расчета данные внутренней баллистики. Кривые скорости снаряда, давления в патроннике и пути снаряда в стволе по времени приведены на фиг. 52, 53 и 54*.



Фиг. 53. График скорости снаряда по времени для 20-мм пушки.



Фиг. 54. График пути снаряда по времени для 20-мм пушки.

---

*При решении некоторых проектных задач этих данных может быть недостаточно или они могут отсутствовать. Аналитические методы, при помощи которых могут быть получены данные для решения указанных задач в первом приближении, следует заимствовать из обычных руководств по внутренней баллистике.

Как было отмечено выше, основным фактором, определяющим характеристики системы с длинным откатом ствола, является вес подвижных частей. Для получения оптимального темпа стрельбы этот вес следует снизить до минимума, учитывая, разумеется, требования прочности, жесткости и живучести. Вес этих деталей определяется не только их прочностью, но и конструкцией механизма. Например, если конструктор принял такое конструктивное решение, при котором затвор должен перемещаться по направляющим ствольной коробки, то, очевидно, откатывающиеся части будут тяжелее, чем в том случае, когда затвор скользит по направляющим в кожухе (или в коробке автоматики). Поэтому для определения веса подвижных частей следует начинать проектирование с конструктивной проработки схемы компановки ствола и затвора. Одновременно следует сразу же установить путь отката ствола и величины рабочих ходов отдельных элементов автоматики.

Разумеется, окончательные размеры и вес некоторых деталей подвижных частей не могут быть установлены до тех пор, пока не будут выявлены усилия, действующие на эти детали в результате получаемых ими в процессе работы автоматики ускорений и ударов. Однако примерные весовые характеристики, полученные при предварительном проектировании, будут достаточно точны и, следовательно, пригодны для расчетов, при помощи которых можно определить действующие силы.

По мере выполнения приводимого нами расчета его результаты будут иллюстрироваться на конкретных примерах. Хотя эти расчеты и прилагаемые графики относятся только к 20-*мм* патрону и стволу, а вес подвижных частей выбран произвольно, тем не менее сам метод расчета может быть применен для любой системы с длинным откатом ствола.

В расчетах определяется следующее:

1) условия свободного отката;

2) данные, необходимые для проектирования пружин ствола и затвора;

3) темп стрельбы;

4) графики изменения скорости и пути отката подвижных частей по времени;

5) энергия, потребляемая откатывающимися частями.

В процессе расчетов выведены следующие формулы и уравнения:

1) соотношение количества движения и скорости для периода нахождения снаряда в стволе;

2) формула, определяющая количество движения и скорость свободного отката;

3) выражение для определения времени действия остаточного давления;

4) формула, определяющая начальную энергию откатывающихся частей;

5) формулы, учитывающие сопротивление пружин;

6) уравнение энергии откатывающихся подвижных частей и пружин;

7) формула, определяющая время отката;

8) выражение, устанавливающее величину темпа стрельбы.

ОБОЗНАЧЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ АНАЛИЗЕ

A — площадь поперечного сечения канала ствола (дюйма²).
B — отношение между средними усилиями пружины ствола и пружины затвора.
C — произвольная постоянная интегрирования.
D — общий путь отката затвора (фут).
d — путь отката затвора за промежуток времени t (фут).
d' — путь отката затвора за первые .010 сек. (фут).
E_r — начальная энергия затвора (фунт.фут).
F_{av} — суммарная сила (средняя) пружин ствола и затвора на пути D (фунт).
F_{av_1} — средняя сила пружины ствола на пути отката D (фунт).
F_{av_2} — средняя сила пружины затвора на пути отката D (фунт).
F_o — суммарное усилие предварительного поджатия пружин затвора и ствола (фунт).
F_{o_1} — усилие предварительного поджатия пружины ствола (фунт).
F_{o_2} — усилие предварительного поджатия пружины затвора (фунт).
g — ускорение силы тяжести (фут/сек²).
K — суммарная жесткость пружин ствола и затвора (фунт/фут).
K_1 — жесткость пружины ствола (фунт/фут).
K_2 — жесткость пружины затвора (фунт/фут).
M_c — масса порохового заряда (фунт.сек²/фут).
M_p — масса снаряда (фунт.сек²/фут).
M_r — общая масса откатывающихся частей (фунт сек²/фут).
M_1 — масса ствола (фунт.сек²/фут).
M_2 — масса затвора (фунт.сек²/фут).
P — дульное давление (фунт/дюйм²).
T — время отдачи (сек).
T' — общее время цикла (сек).
T_1 — время наката ствола (сек).
T_2 — время наката затвора (сек).
t — текущее время (сек).
t_r — примерное время наката ствола и затвора (сек).
T_{res} — продолжительность периода последействия (сек).
V_p — начальная скорость снаряда (фут/сек).
v_p — скорость снаряда в канале ствола в момент времени t (фут/сек).
v_r — скорость замедленной отдачи в момент времени t (фут/сек).
V_{r_f} — максимальная скорость свободной отдачи (фут/сек).
v_{r_f} — скорость свободной отдачи в момент времени t (фут/сек).
W_c — вес порохового заряда (фунт).
W_p — вес снаряда (фунт).
W_r — вес откатных частей (фунт).

1. Условие свободного отката

Если оружие установлено на лафете так, что его откат не тормозится внешними силами, например, силами трения, то импульс силы отдачи сообщает оружию количество движения, направленного назад, ко-

торое равно количеству движения снаряда и пороховых газов. За время нахождения снаряда в канале ствола соотношение количества движения может быть выражено равенством:

$$M_r v_{r_f} = M_p v_p + M_c v_c$$

Поскольку вследствие турбулентного характера процесса горения порохового заряда газы образуют массу постоянной плотности, можно допустить, что центр тяжести массы газов смещается вперед со скоростью равной половине скорости движения снаряда. Фактически это положение не вполне точно, так как наличие нарезов в канале ствола и его расширение в зоне патронника нарушают равномерность распределения объема канала ствола на всем его протяжении. Однако принятое нами допущение достаточно точно для целей настоящего анализа. Поэтому уравнение (2.1) может быть записано в следующем виде:

$$M_r v_{r_f} = M_p v_p + M_c \frac{v_p}{2} = \left(M_p + \frac{M_c}{2}\right) v_p \qquad (2.2)$$

Следует иметь в виду, что равенство количества движения, выраженное уравнением (2.2), не нарушается внутренними силами трения, противодействующими движению снаряда и пороховых газов, или силами врезания полей канала ствола в ведущий поясок снаряда. Хотя эти силы тормозят движение снаряда и пороховых газов, они одновременно сообщают равную и противоположную по направлению силу реакции стволу, что в свою очередь вызывает торможение отката ствола. Иными словами, внутреннее сопротивление лишь уменьшает действительный импульс, вызывающий движение, но не нарушает равенства количеств движения, направленных вперед и назад.

Решая уравнение (2.2) относительно величины V_{r_f}, мы получаем значение скорости свободного отката в период нахождения снаряда в канале ствола:

$$v_{r_f} = \frac{M_p + \frac{M_c}{2}}{M_r} v_p = \frac{W_p + \frac{W_c}{2}}{W_r} v_p \qquad (2.3)$$

Уравнение (2.3) может быть использовано для составления графика скорости свободного отката по времени в период нахождения снаряда в канале ствола. Вес снаряда и порохового заряда известен, а вес подвижных частей принят на основании предварительного проектирова-

ния. Скорость снаряда в любой момент времени определяется по графику, изображенному на фиг. 53.

Ординату графика скорости свободного отката можно найти для любой отметки времени t путем умножения соответствующей ординаты графика скорости снаряда на величину

$$\frac{W_p + \frac{W_c}{2}}{W_r}$$

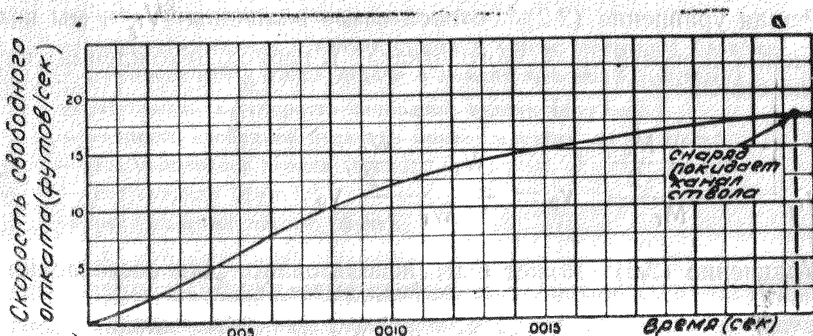
Допустим, что вес откатывающихся частей 20-*мм* пушки составляет 50 фунтов (22,7 *кг*). В этом случае величина переходного коэффициента

$$\frac{W_p + \frac{W_c}{2}}{W_r} = \frac{.29 + .\frac{07}{2}}{50} = .00650$$

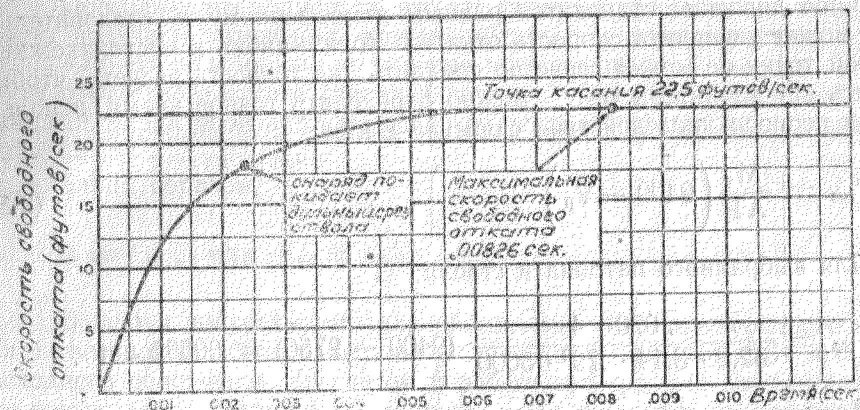
Следовательно, до того, как снаряд покинет канал ствола, скорость свободного отката подвижных частей

$$V_{r_f} = .00650\ V_p \text{ фут/сек}$$

График, полученный при помощи этого отношения, показан на фиг. 55 (для участка времени $t = 0 \div .00234$ *сек.*) и на фиг. 56, где масштаб времени изменен, чтобы показать, как изменяется скорость откатных частей после вылета снаряда из канала ствола.



Фиг. 55. Кривая скорости свободного отката при нахождении снаряда в канале ствола.



Фиг. 56 График скорости свободного отката для первых 10 миллисекунд.

Характер изменения скорости свободного отката после вылета снаряда из канала ствола не может быть установлен при помощи уравнения (2.3), так как в этот момент снаряд уже не является частью системы. Поскольку закон изменения остаточного давления не может быть выражен простой зависимостью, удобной для расчета, в настоящем анализе использован специальный метод. Результаты экспериментов, проведенных с различными образцами автоматического оружия, показывают, что максимальная скорость свободного отката может быть определена с достаточной точностью по зависимости

$$V_{r_f} = \frac{W_p V_p + 4700\ W_c}{W_r} \tag{2.4}$$

Эта зависимость равноценна утверждению, что максимальное количество движения, сообщенное откатывающимся частям, равно сумме дульного количества движения снаряда и количества движения пороховых газов при допущении, что последние покидают ствол со скоростью 4700 фут/сек (1400 *м/сек*). Следовательно, для рассматриваемого примера имеем

$$V_{r_f} = \frac{.29 \cdot 2750 + 4700 \cdot .070}{50} = 22.5 \text{ фут/сек } (6{,}75\ \textit{м/сек.})$$

На график кривой скорости свободного отката за пиродинамический период наносится линия, представляющая значение максимальной скорости свободного отката (см. фиг. 56), и кривая, полученная по уравнению (2.3), экстраполируется до касательной к этой линии. Точка, в

которой кривая касается линии, представляет отметку времени, когда остаточное давление становится равным атмосферному и, следовательно, не может увеличить скорость отката. Хотя ошибка в местонахождении этой точки не может серьезно повлиять на точность расчета, чтобы уточнить эту характеристику, можно определить точное время, используя для периода последействия формулу Валье:

$$T_{res} = \frac{M_c}{A\,P}\left(9400 - V_p\right) \qquad (2.5)$$

Для выбранного патрона и ствола:

$$T_{res} = \frac{.070 \cdot 4}{32.2 \cdot 3.14 \cdot .79^2 \cdot 5000}\,(9400 - 2750) = .00592 \text{ сек.}$$

Для того, чтобы установить общее время действия пороховых газов на подвижную систему, достаточно сложить это время с тем временем, в течение которого снаряд находится в канале ствола

$$T_{res} = .00234 + .00592 = .00826 \text{ сек.}$$

Экстраполируя график скорости свободного отката за пиродинамический период до касательной к линии, представляющей значение максимальной скорости в точке, установленной настоящим расчетом, мы получим полный график скорости свободного отката, изображенный на фиг. 56, который будет использован как основа для продолжения расчета.

2. Определение характеристик пружин

Расчеты по построению графика скорости свободного отката дают максимальную величину этой скорости 22.5 фут/сек (6,75 *м/сек*). Поскольку полное ускорение откатывающихся частей происходит за .010 *сек.*, а торможение отката за этот период очень невелико вследствие сопротивления пружины ствола и возвратной пружины затвора, можно допустить с целью установления характеристик пружин, что максимальная скорость отката сообщается подвижным частям мгновенно. Основываясь на этом допущении, определяем начальную кинетическую энергию откатывающихся частей по уравнению:

$$E_r = \frac{1}{2} M_r V_{r_f}^2 = \frac{W_r V_{r_f}^2}{2g} \text{ фунт.фут}$$

Подставляя в уравнение данные рассматриваемого примера, имеем:

$$E_r = \frac{50 \cdot 22.5^2}{2 \cdot 32.2} = 394 \text{ фунт.фут } (53{,}6 \text{ кг.м})$$

Поскольку мы допустили, что эту кинетическую энергию подвижные части получают мгновенно, можно считать, что характеристики пружин должны быть подобраны из условия поглощения этой энергии на всем пути совместного отката ствола и затвора. Энергия, поглощаемая пружинами, равна произведению среднего усилия этих пружин на величину отката.

Таким образом,

$$E_r = F_{av}\,D \text{ **или** } F_{av} = \frac{E_r}{D} \qquad (2.7)$$

Если мы допустим, что для обеспечения подачи очередного патрона затвор должен быть отперт на расстоянии 10 дюймов (254 *мм*) от его исходного положения (с учетом перебега затвора для компенсации допусков на длину патрона), то величина максимального отката будет также равна 10 дюймам. В этом случае общее среднее усилие пружин ствола и затвора

$$F_{av} = \frac{E_r}{D} = \frac{394}{.875} = 450 \text{ фунт. } (204 \text{ кг.})$$

Необходимо отметить, что сила трения между подвижными деталями и их направляющими в основном постоянна. Если можно ожидать, что это сопротивление достаточно велико, его необходимо определить и затем вычесть из среднего усилия, вычисленного по уравнению (2.7). Однако, как правило, по сравнению с средним усилием пружины, равным 450 фунтам, сопротивление трения сравнительно мало, и поэтому в настоящем анализе мы им пренебрегаем.

Зная суммарное среднее усилие пружин, необходимо так выбрать характеристики обеих пружин, чтобы обеспечить это усилие при их поджатии на требуемом ходе отката. Прежде всего надо установить соотношение между усилиями пружин ствола и затвора. Было бы логично распределить эти усилия пропорционально весу затвора и ствола. Однако, если мы хотим получить максимально возможный темп стрельбы, то к вопросу распределений усилий пружин следует подойти несколько иначе. Характер распределения усилий пружин будет совершенно ясен, если мы рассмотрим их поведение при накате ствола и затвора. При откате обе пружины действуют одновременно, но при накате сначала начинает работать пружина ствола, возвращая его в исходное положение, и только затем вступает в действие возвратная пружина затвора, обеспечивая его накат. Сила этих пружин определяет время наката ствола и затвора, и путем правильного подбора усилия пружин можно добиться минимального времени общего наката. В конце наката кинетическая энергия ствола и затвора

$$E = \frac{1}{2} M V^2 = F_{av} \cdot D$$

Решая это уравнение относительно величины V, мы получаем

$$V = \sqrt{\frac{2 F_{av} \cdot D}{M}}$$

Время, необходимое для наката, должно быть обратно пропорционально этим скоростям, т. е.

$$t_r = \alpha \sqrt{\frac{M}{2 F_{av} \cdot D}}$$

Таким образом, общее суммарное время наката ствола и затвора

$$t_r = \alpha \sqrt{\frac{M_1}{2F_{av_1} \cdot D}} + \alpha \sqrt{\frac{M_2}{2F_{av_2} \cdot D}}$$

Следует обратить внимание на то, что с целью упрощения анализа перебег затвора не учитывается. Итак, $M_1 = CM_2$

$$F_{av_1} + F_{av_2} = F_{av} \quad \text{и} \quad F_{av_1} = B\, F_{av_2}$$

Одновременно решая оба эти уравнения относительно F_{av_1} и F_{av_2}, получаем

$$F_{av_1} = \frac{F_{av}\, B}{B+1} \quad \text{и} \quad F_{av_2} = \frac{F_{av}}{B+1}$$

Из уравнения общего времени наката, подставляя CM_2 вместо M_1 и значения F_{av_1} и F_{av_2}, получаем

$$t_r = \alpha \sqrt{\frac{CM_2}{2\frac{F_{av}\, B}{B+1} D}} + \alpha \sqrt{\frac{M_2}{2\frac{F_{av}}{B+1} D}}$$

Упрощая это выражение, имеем

$$t_r = \alpha \left(\sqrt{\frac{C(B+1)}{B}} + \sqrt{B+1} \right) \sqrt{\frac{M_2}{2 F_{av} D}}$$

Значение t_r будет минимальным, если минимальна величина, заключенная в скобках. Это будет, когда

$$\frac{d}{dB}\left(\sqrt{\frac{C(B+1)}{B}} + \sqrt{B+1} \right) = 0$$

Дифференцируя это уравнение, находим

$$\sqrt{B+1}\left(\frac{-\frac{C}{B^2}}{2\sqrt{\frac{C}{B}}} \right) + \left(\sqrt{\frac{C}{B}} + 1 \right) \frac{1}{2\sqrt{B+1}} = 0$$

Решая относительно B, получаем

$$\frac{\sqrt{B+1}}{B} \sqrt{\frac{C}{B}} = \left(\sqrt{\frac{C}{B}} + 1 \right) \frac{1}{\sqrt{B+1}};$$

$$\frac{B+1}{B} \sqrt{\frac{C}{B}} = \sqrt{\frac{C}{B}} + 1;$$

$$\left(\frac{B+1}{B} - 1 \right) \sqrt{\frac{C}{B}} = 1; \quad \frac{1}{B} \sqrt{\frac{C}{B}} = 1; \quad B = \sqrt[3]{C}$$

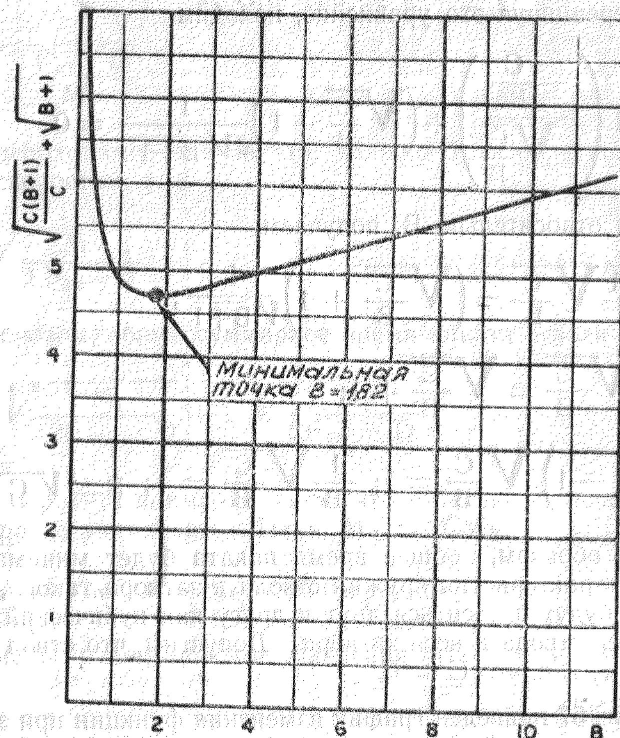
Таким образом, общее время наката будет минимальным, если отношение характеристик пружин ствола и затвора таково, что их средние усилия будут относиться друг к другу как кубический корень из отношения веса ствола и веса затвора. Допустим, что ствол тяжелее затвора в 6 раз, т. е. что $C = 6$.

На фиг. 57 приведен график изменения функции при значении $C=6$. Следует отметить, что кривая достигает своего минимального значения при $B = 1.82$, т. е. $B = \sqrt[3]{6}$.

Если применить это соотношение в нашем примере, то общая потребная сила в 450 фунтов (205 *кг*) должна распределиться так, чтобы пружина затвора имела среднее усилие 160 фунтов (72 *кг*), а пружина ствола 290 фунтов (132 *кг*). Следует иметь в виду, что применение возвратной пружины затвора со средним усилием 160 фунтов затруднит ручную перезарядку оружия и потребует каких-то механических приспособлений или внешнего источника силы. По этой причине было бы желательно изменить соотношение B, пожертвовав темпом стрельбы ради облегчения перезарядки. Однако, если оружие предполагают перезаряжать пневматически или при помощи каких-либо других средств, то нет необходимости изменять полученные при расчете данные пружин. Поэтому мы не будем изменять их до конца анализа.

Следующей задачей проектирования пружин является определение усилий предварительного поджатия и жесткости из расчета на сохранение среднего усилия при поджатии пружин на всю величину отката в 10 дюймов.

Как указывалось выше, подбор пружин для автоматического оружия требует точного анализа с учетом потерь на скручивание, вибра-



Фиг. 57. График изменения функции $\sqrt{B+1}\left(\sqrt{\frac{C}{B}}+1\right)$ при C = 6.

ционных колебаний вдоль оси пружины, ударных нагрузок и тому подобных факторов. Если этого не принять во внимание, то можно ожидать нарушения правильной работы пружины и даже преждевременного выхода ее из строя. Поскольку конструирование пружин, подверженных значительным по величине и быстро меняющимся нагрузкам, является предметом специального раздела общего машиностроения и поскольку получение нормально работающей пружины для автоматической системы требует серьезных экспериментов, мы примем в настоящем анализе для обеих пружин произвольно выбранные характеристики.

Выбирая для рассматриваемого образца характеристики пружин, т. е. величины жесткости K и усилий предварительного поджатия, ограничимся их минимальными значениями, для того чтобы получить максимально возможный темп стрельбы. Так, для пружин ствола мы примем усилие предварительного поджатия 115 фунтов (52 *кг*), что для сохранения среднего усилия поджатия потребует максимального усилия поджатия 465 фунтов (212 *кг*). Поскольку разница между максимальным

и предварительным усилиями поджатия составляет 350 фунтов, а весь ход отката равен .875 фута, то жесткость пружины будет равна 400 фунт/фут (6 *кг/см*). Если усилие предварительного поджатия пружины затвора равно 55 фунтов (25 *кг*), то средняя сила может быть получена при максимальном усилии поджатия 265 фунтов (119 *кг*). Разница между усилиями предварительного и максимального поджатий будет равна 210 фунтов, а жесткость при длине хода отката .875 фута — 240 фунт/фут (3,6 *кг/см*). После того, как характеристики пружин определены, остается определить расчетные характеристики системы, т. е. ее темп стрельбы.

3. Вывод уравнений отката

Зная вес подвижных частей и характеристики пружин ствола и затвора, из уравнения энергии системы при откате можно установить характеристики отката.

Это уравнение выводится на основании того, что при откате пружины поглощают кинетическую энергию, сообщенную подвижным частям давлением пороховых газов. Если допустить, что эта энергия передается подвижным частям мгновенно и что потери на трение и на выполнение отдельных операций автоматического цикла незначительны и ими можно пренебречь, то величину энергии подвижных частей в любой промежуток времени можно выразить уравнением

$$\frac{M_r v_r^2}{2} = E_r - \int_0^d (F_o + Kd)\, dd = E_r - \left(F_o d + \frac{Kd^2}{2}\right) \qquad (2.8)$$

в котором величина F_o представляет суммарное предварительное усилие поджатия пружин затвора и ствола (F_{o_1} и F_{o_2}). Соответственно величина K представляет суммарную жесткость K_1 и K_2 пружин ствола и затвора.

Уравнение (2.8) может быть использовано для вывода уравнения, выражающего зависимость между временем и перемещением подвижных частей. Решая уравнение (2.8) относительно v_r, получаем

$$v_r = \sqrt{-\frac{K}{M_r} d^2 - \frac{2F_o}{M_r} d + \frac{2E_r}{M_r}} = \frac{dd}{dt}$$

Отсюда

$$dt = \frac{dd}{\sqrt{-\frac{K}{M_r} d^2 - \frac{2F_o}{M_r} d + \frac{2E_r}{M_r}}}$$

Табличное значение интеграла имеет значение

$$\int \frac{dd}{\sqrt{c-bd-ad^2}} = \frac{1}{\sqrt{a}} \arcsin \frac{2ad+b}{\sqrt{b^2+4ac}} + C,$$

где $a = \frac{K}{M_r}$, $b = \frac{2F_o}{M_r}$, $C = \frac{2E_r}{M_r}$

Следовательно,

$$t = \sqrt{\frac{M_r}{K}} \arcsin \frac{\frac{K}{M_r} d + \frac{F_o}{M_r}}{\sqrt{\frac{F_0^2 + 2KE_r}{M_r^2}}}$$

В конце отката энергия, аккумулированная возвратной пружиной равна начальной энергии откатных частей, т. е.

$$E_r = F_o D + \frac{KD^2}{2}$$

$$F_o^2 + 2KE_r = F_o^2 + 2K\left(F_o D + \frac{KD^2}{2}\right) = F_o^2 + 2KF_o D + K^2D^2$$

Тогда

$$F_o^2 + 2KE_r = (F_o + KD)^2$$

Подставляя это значение в уравнение для t, получаем

$$t = \sqrt{\frac{M_r}{K}} \arcsin \frac{Kd + F_o}{KD + F_o} + C$$

Для определения величины C используем начальное условие.

Имеем при $t = 0$ $d = 0$,

т. е. $$C = -\sqrt{\frac{M_r}{K}} \arcsin \frac{F_o}{KD + F_o}$$

Подставляя это выражение для C в уравнение для t, получаем зависимость, определяющую значение t для величины отката d

$$t = \sqrt{\frac{M_r}{K}}\left(\arcsin \frac{Kd + F_o}{KD + F_o} - \arcsin \frac{F_o}{KD + F_o}\right) \qquad (2.9)$$

Решая уравнение относительно d, получаем зависимость, определяющую величину отката d для текущего времени t,

$$d = \frac{KD + F_o}{K} \sin\left(\sqrt{\frac{K}{M_r}}\, t + \arcsin \frac{F_o}{KD + F_o}\right) - \frac{F_o}{K} \qquad (2.10)$$

Уравнение (2.9) может быть использовано также для определения полного времени отката T. Заменяя d через D, получаем

$$T = \sqrt{\frac{M_r}{K}}\left(\arcsin 1 - \arcsin \frac{F_o}{KD + F_o}\right) =$$

$$= \sqrt{\frac{M_r}{K}}\left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{F_o}{KD + F_o}\right) \qquad (2.11)$$

$$T = \sqrt{\frac{M_r}{K}}\left(\arccos \frac{F_o}{KD + F_o}\right)$$

или

$$T = \sqrt{\frac{M_{r_1} + M_{r_2}}{K_1 + K_2}}\left(\arccos \frac{F_{o_1} + F_{o_2}}{(K_1 + K_2) D + F_{o_1} + F_{o_2}}\right).$$

Если допустить, что потери невелики и ими можно пренебречь, то время, необходимое для наката ствола и затвора в крайнее переднее положение, также можно определить по уравнению (2.11) при условии, что вместо величин M, K, и D будут подставлены соответствующие значения.

Определим суммарное время цикла.

$$T' = \sqrt{\frac{M_{r_1} + M_{r_2}}{K_1 + K_2}}\left(\arccos \frac{F_{o_1} + F_{o_2}}{(K_1 + K_2) D + F_{o_1} + F_{o_2}}\right) +$$

$$+ \sqrt{\frac{M_{r_1}}{K_1}}\left(\arccos \frac{F_{o_1}}{K_1 D + F_{o_1}}\right) +$$

$$+ \sqrt{\frac{M_{r_2}}{K_2}}\left(\arccos \frac{F_{o_2}}{K_2 D + F_{o_2}}\right) \qquad (2.12)$$

Необходимо обратить внимание на то, что в двух последних членах уравнения (2.12) не учитывается величина перебега, введенная в конструкцию оружия (см. фиг. 51). Получаемая при этом ошибка настолько незначительна, что нет необходимости усложнять расчет, вводя соответствующую поправку.

Поскольку T есть полное время цикла, выражение для определения темпа стрельбы принимает вид

$$N = \frac{60}{T'} \qquad (2.13)$$

Темп стрельбы определяется следующим образом. Поскольку общий вес подвижных частей был принят равным 50 фунтам, вес ствола и связанных с ним деталей — 40 фунтам (18,1 *кг*), а вес затвора и его деталей — 10 фунтам (4,6 *кг*).

$$T' = \sqrt{\frac{40+10}{32.2\,(400+240)}}\left(\arccos\frac{115+55}{(400+240)\,.875+114+55}\right) +$$

$$+\sqrt{\frac{40}{32.2\cdot 400}}\left(\arccos\frac{115}{400\cdot .875+115}\right) +$$

$$+\sqrt{\frac{10}{32.2\cdot 240}}\left(\arccos\frac{55}{240\cdot .875+55}\right) =$$

$$= .0660 + .0737 + .0487 = .1884 \text{ сек.}$$

$$T' = .1884 \text{ сек.}$$

Отсюда темп стрельбы $N = \frac{60}{.1884} = 319$ *выстр/мин.*

Расчет темпа стрельбы проведен при допущении, что вся энергия отдачи поглощается пружинами. Как указывалось вначале, некоторое увеличение темпа может быть достигнуто путем применения более легких пружин и жестких буферных устройств, но поскольку получаемый при этом выигрыш незначителен, данное обстоятельство не было использовано.

Можно несколько увеличить темп стрельбы, если передать затвору часть энергии ствола по достижении последним переднего положения.

В данном случае ствол приходит в переднее положение со скоростью

$$V_1 = \sqrt{\frac{2F_{av}\,D_1}{M_1}} = 13.8 \text{ фут/сек.},$$

а средняя скорость затвора на участке наката

$$V_{av_2} = \frac{D}{t} = \frac{.875}{.0487} = 18 \text{ фут/сек } (5{,}35 \ \textit{м/сек})$$

Определим возможное увеличение средней скорости затвора за

счет энергии ствола в его переднем положении. Пусть энергия сообщается затвору мгновенно через ускоритель с передаточным числом

$$R = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{1}} = 2.$$

Тогда возможное увеличение средней скорости

$$V_2 = \frac{R\cdot V_1\,(1+e)}{1+\frac{M_2\,R^2}{m_1}} = \frac{2\cdot 13.8\,(1+.55)}{1+\frac{10.0\cdot 2^2}{40.0}} = 21 \text{ фут/сек},$$

где $e = .55$ — коэффициент упругости удара.

В этом случае средняя скорость наката затвора составила бы $V'_{av_2} = 39$ фут/сек (11,8 *м/сек*), а время наката

$$t = .022 \ \textit{сек},$$

т. е. время наката затвора уменьшилось бы более чем вдвое, а темп стрельбы составлял бы $N = 375$ *выстр/мин.*

Зная темп стрельбы и энергию отдачи, можно определить мощность, поглощаемую откатными частями, по формуле

$$H = \frac{E_r\,N}{33.0} \qquad (2.14)$$

В данном случае мощность, поглощаемая подвижными частями,

$$H = \frac{394\cdot 319}{33.000} = 3.81 \text{ л. с.}$$

Построение расчетных графиков пути и скорости подвижных частей по времени

При конструировании различных деталей затворного механизма, а также механизмов питания и воспламенения капсюля необходимо пользоваться данными движения подвижных частей в течение всего цикла автоматики. Эти сведения обычно даются конструктору в виде теоретических графиков, показывающих зависимость пройденного пути и скорости подвижных частей от времени. Такие графики могут быть вычислены при помощи формул, выведенных в предыдущем разделе. Однако при этом необходимо помнить, что все эти формулы выведены при допущении, что начальная энергия сообщается подвижным частям мгновенно. Следовательно, графики, вычисленные на основании этих формул, не учитывают явлений, имеющих место в действительности.

При определении времени цикла и темпа стрельбы период действия пороховых газов в расчет не принимается, так как он относительно мал. Однако при более высоком темпе стрельбы этот период уже может оказаться довольно значительным, и поэтому его учет при построении графиков движения затвора обязателен.

Кроме того, ввиду высоких ускорений подвижных частей под действием пороховых газов желательно детально установить характер их движения в первый период отката. Изменение давления пороховых газов нельзя выразить при помощи простой аналитической зависимости, и поэтому для учета действия пороховых газов применяется специальный метод, позволяющий определить параметры движения затвора. Этот метод сводится к построению графика скорости свободного отката, вычитанию из ординат этого графика соответствующих ординат потерь скорости движения вследствие тормозящего действия пружин. Скорость свободного отката по времени была уже вычислена ранее (ее кривые приведены на фиг. 55 и 56).

Для определения тормозящего действия пружин применяется уравнение

$$F \cdot dt = M \cdot dv. \quad (2.15)$$

Выражение (2.15) показывает, что изменение количества движения массы равно приложенному импульсу (произведению силы на время ее действия). Решая это уравнение относительно dv, получаем

$$dv = \frac{F}{M} dt.$$

Чтобы получить изменение скорости по времени, интегрируем выражение (2.15).

$$v = \int_0^t \frac{F}{M} dt = \frac{1}{M} \int_0^t F \cdot dt. \quad (2.16)$$

В соответствии с уравнением (2.16) тормозящий эффект силы, приложенной к какой-либо массе, можно определить следующим образом:

1) построить кривую изменения силы по времени;

2) измерить площадь под этой кривой в интервале времени $t = 0$ и $t=t_1$;

3) разделить площадь на массу тела (тем самым мы получим ординату графика торможенной скорости для момента времени t_1);

4) повторить пункты 2 и 3 для других значений t и по полученным результатам построить кривую торможенной скорости.

Применяя такой метод и учитывая при этом массу откатных частей, а также суммарное сопротивление пружины ствола и возвратной пружины затвора, можно построить график замедления скорости отката.

Поскольку график скорости свободного отката говорит об увеличении скорости на участке действия импульса пороховых газов, то разница между графиками, если их наложить один на другой при одном и том же масштабе времени и скорости, даст нам график скорости торможенного отката.

Предлагаемый метод оказался бы очень простым, если бы сила торможения была постоянной или было известно ее изменение по времени. Однако поскольку это усилие изменяется с изменением величины отката, как это имеет место с пружинами затвора и ствола, то вопрос несколько усложняется. Для того, чтобы построить график изменения тормозящей силы по времени, необходимо иметь график изменения пути отката по времени.

Для решения указанной задачи разобъем путь отката на два участка. В течение первых 10 миллисекунд потери скорости от торможения пружин относительно невелики и могут быть вычислены при постоянном усилии, равном сумме предварительного поджатия обеих пружин. Изменение усилия пружин за это время мало и в случае необходимости его можно определить достаточно точно. Таким образом, для первых 10 миллисекунд можно получить вполне точные результаты. Что же касается остального цикла автоматики, т. е. периода, когда пороховые газы уже не действуют на подвижную систему, то величина отката может быть определена аналитическим путем без особого труда.

Последовательность построения графиков скорости и пути движения для первых 10 миллисекунд должна быть следующей:

1. Строится график скорости свободного отката по времени (фиг. 55).

2. Определяется уменьшение скорости от усилия предварительного поджатия пружин по зависимости

$$\triangle v = \frac{(F_{0_1} + F_{0_2})\, t}{M_r}$$

Определив уменьшение скорости для различных отметок времени t_i и вычтая их из соответствующих ординат скорости свободного отката, получим график скорости торможенного отката в первом приближении.

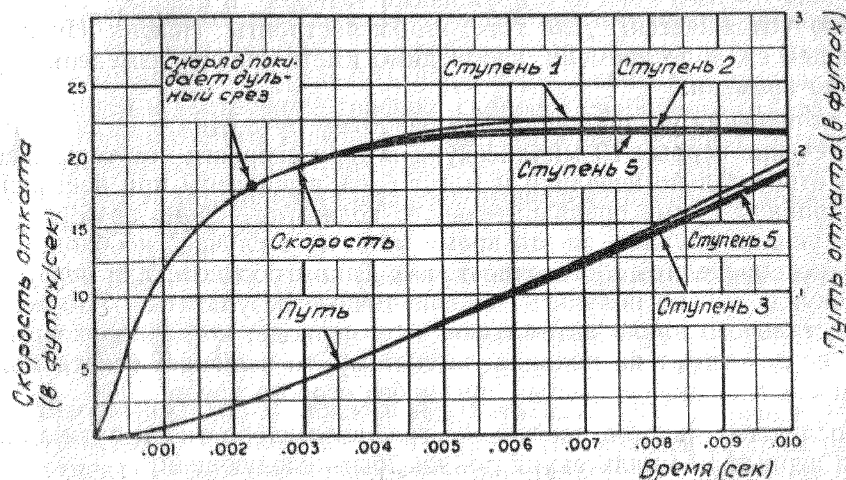
3. Интегрируем график скорости торможенного отката в первом приближении для получения графика перемещений.

4. Из графика перемещений определяем силу торможения, вызываемую жесткостью пружин. (Обычно поправка на влияние силы торможения незначительна и ею можно пренебречь).

5. В случае, если эта поправка влияет на величину скорости, следует внести корректировку в график скорости, вычисленный в пункте 2, а затем проинтегрировать его для получения графика перемещений во втором приближении.

6. Действия, указанные в пунктах 4 и 5, могут повторяться до тех пор, пока уточнение не будет вызывать значительных изменений в графике перемещений. Практически процесс последовательного приближения заканчивается на определении графика скорости по пути откатных частей во втором приближении.

Графики, вычисленные для рассматриваемого примера, приведены на фиг. 58. Общее уменьшение скорости отката из-за суммарного уси-



Фиг. 58. Графики пути по времени для первых 10 миллисекунд.

лия предварительного поджатия пружин в течение первых 10 миллисекунд

$$\triangle v = \frac{(F_{o_1} + F_{o_2})\, t}{M_r} = \frac{115 + 55}{50.0} \cdot 32.2 \cdot .01 =$$

$$= 1.090 \text{ фут/сек. } (0{,}375\ \textit{м/сек}).$$

Уменьшение скорости вследствие жесткости пружин, определенное по методу, изложенному в пункте 4, равно всего лишь .345 фут/сек (0,1 *м/сек*). Графики, показанные на фиг. 58, являются результатом расчетов, принцип которых изложен в пункте 5. Поскольку уменьшение скорости незначительно, дальнейшего уточнения не проводилось.

Кривая перемещений на остальном пути отката может быть определена аналитически при помощи уравнения (2.10):

$$d = \frac{KD + F_0}{K} \sin\left(\sqrt{\frac{K}{M_r}}\, t + \arc\sin \frac{F_0}{KD + F_0}\right) - \frac{F_0}{K}$$ СТР 4

Однако, поскольку некоторый путь отката (d′) был пройден за .010 *сек.*, значения величин D и F_0 должны быть изменены с тем, чтобы учесть это перемещение, а величина d′ должна быть прибавлена к окончательным результатам, полученным для величины d по зависимости (2.10). При откате ствол и затвор движутся вместе; при накате же ствол возвращается в исходное положение первым, затвор остается на шептале и его накат происходит уже после остановки ствола. Поэтому можно считать, что движение происходит в три фазы: откат, накат ствола, накат затвора.

Для первой фазы движения в уравнение (2.10) вводятся следующие измененные величины:

$$F_0' = F_0 + Kd' \quad \textbf{или} \quad F_0' = F_{o_1} + F_{o_2} + (K_1 + K_2)\, d'$$

$$D' = D - d'$$

$$t' = t - .010$$

Учитывая, что

$$F_0 = F_{o_1} + F_{o_2}$$

$$K = K_1 + K_2$$

$$M_r = M_{r_1} + M_{r_2}$$

Введение всех этих подстановок приводит к виду уравнения 2.10а. В таком виде уравнение применяется при анализе отката подвижных частей.

$$d = \frac{(K_1 + K_2)(D - d') + F_{o_1} + F_{o_2} + (K_1 + K_2)\, d'}{K_1 + K_2} \sin\left[\sqrt{\frac{K_1 + K_2}{M_{r_1} + M_{r_2}}} \times (t - .01) + \arc\sin \frac{F_{o_1} + F_{o_2} + (K_1 + K_2)\, d'}{(K_1 + K_2)(D - d') + F_{o_1} + F_{o_2} + (K_1 + K_2)\, d'}\right] - \frac{F_{o_1} + F_{o_2} + (K_1 + K_2)\, d'}{K_1 + K_2} + d'. \qquad (2.10a)$$

Упрощая это выражение, получаем

$$d = \frac{KD + F_0}{K} \sin\left[\sqrt{\frac{K}{M_r}}\, (t - .01) + \arc\sin \frac{F_0 + Kd'}{KD + F_0}\right] - \frac{F_0}{K}.$$

Это уравнение используется для построения графика перемещения в период времени от t = .010 *сек.* до посадки затвора на шептало. Поскольку в рассматриваемой конструкции перебег ствола невелик, пренебрегаем им и считаем, что затвор садится на шептало при D = 10 дюймам

(260 *мм*). После посадки затвора на шептало происходит его отпирание, и ствол начинает накатываться под воздействием только одной пружины ствола. Начинается вторая фаза движения.

Движение ствола в этот период определяется несколько измененным уравнением (8.10). Поскольку действует только одна пружина ствола, величина K заменяется величиной K_1, F_0 заменяется F_{0_1}, а M_r заменяется M_{r_1}. Время наката равно $t + (T_1 - T)$, где T — время отката, выраженное уравнением (2.11), а T_1 — время, требующееся для наката одного ствола. Эта подстановка необходима, так как период наката ствола существенно отличается от периода отката ствола и затвора. Проведя указанные подстановки, мы получим измененную форму уравнения (2.10) для определения наката ствола:

$$d = \frac{K_1 D + F_{o_1}}{K_1} \sin\left(\sqrt{\frac{K_1}{M_{r_1}}}(t + T_1 - T) + \arcsin\frac{F_{o_1}}{K_1 D + F_{o_1}}\right) - \frac{F_{o_1}}{K_1}$$

Это уравнение применимо для периода времени в интервале от $t = T$ до $t = T + T_1$. Допускаем, что затвор снимается с шептала в момент прихода ствола в крайнее переднее положение, т. е. при $t = T + T_1$. С момента начала движения затвора наступает третья фаза движения.

Движение затвора при накате может быть определено при помощи уравнения (2.10) точно так же, как и движение ствола. Поскольку затвор движется вперед только под действием своей возвратной пружины, значение K должно быть заменено значением K_2, F_0 заменено F_{o_2}, а M_r заменено M_{r_2}. В этом случае время должно равняться $t + T_2 - T + T_1$), где T_2 — время, необходимое затвору для наката. Сделав указанные подстановки, мы получаем уравнение для определения наката затвора.

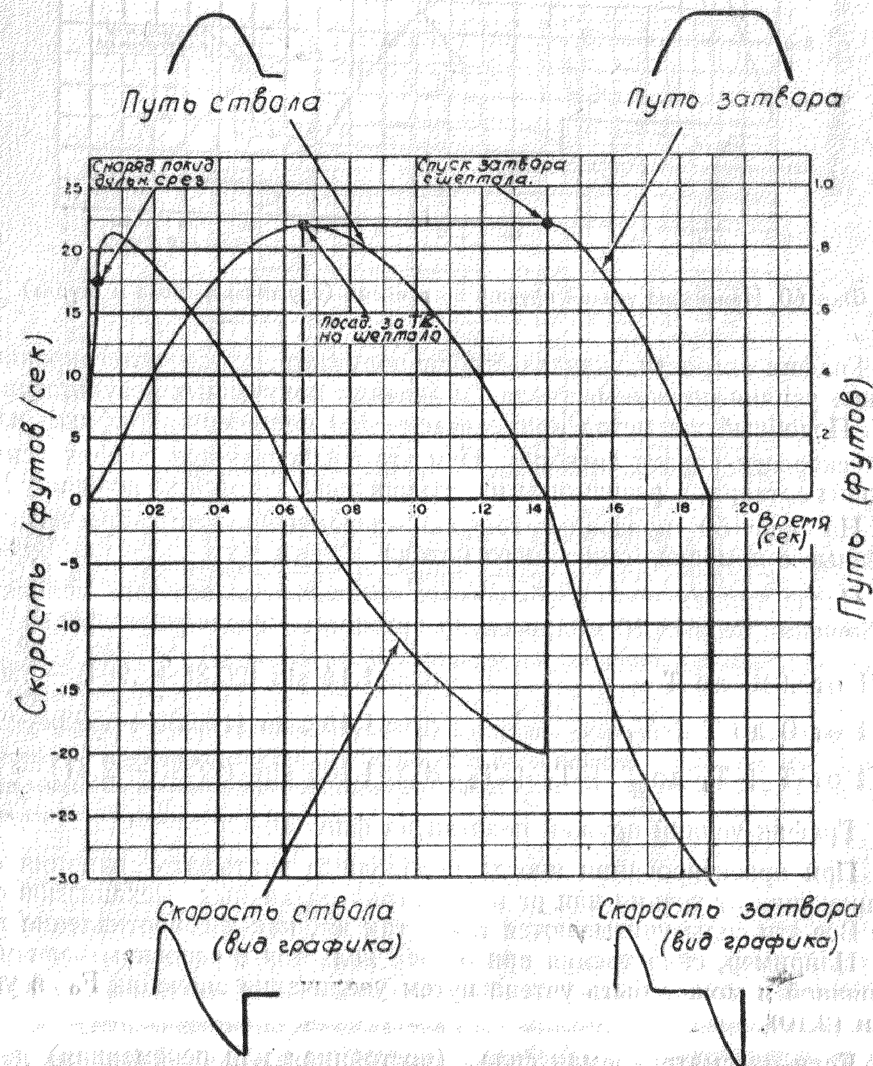
$$d = \frac{K_2 D + F_{o_2}}{K_2} \sin\left(\sqrt{\frac{K_2}{M_{r_2}}}(t + T_2 - T - T_1) + \arcsin\frac{F_{o_2}}{K_2 D + F_{o_2}}\right) - \frac{F_{o_2}}{K_2}$$

Уравнение может быть использовано только для периода времени от $t = T + T_1$ до $t = T + T_1 + T_2$.

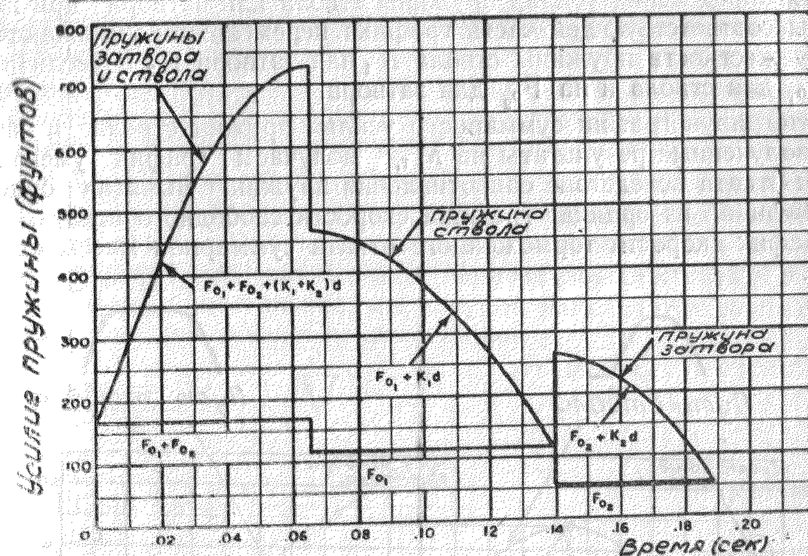
Все три уравнения применяются для построения графиков, характеризующих откат и накат ствола и затвора. Эти графики могут быть использованы для построения графиков изменения сил в пружинах на различных фазах цикла автоматики. Для определения суммарного усилия пружин при откате ординаты соответствующей части графика перемещений умножаются на $K_1 + K_2$ и увеличиваются на $F_{o_1} + F_{o_2}$.

Для определения усилия пружины ствола или затвора при накате ординаты соответствующей части графика перемещений умножаются на величину жесткости пружины ствола K_1 или затвора K_2 и увеличиваются на F_{o_1} для ствола и на F_{o_2} для затвора.

Интегрируя график суммарного усилия пружин ствола и затвора и деля полученные результаты на M_r, получаем график уменьшения скорости отката вследствие сопротивления пружин. Вычитая ординаты этого графика из ординат графика скорости свободного отката, получаем график скорости торможенного отката суммарной массы ствола и затвора.



Фиг. 59. Кривые пути и скорости по времени для полного цикла автоматики



Фиг. 60. Изменение усилий пружин по времени (пружины затвора и ствола).

График скорости наката ствола получают путем интегрирования графика усилия пружины ствола и деления полученных результатов на M_{r_1}. Подобный же метод применяется для построения графика изменения скорости наката затвора. При этом используется график усилий пружины затвора, а результаты интегрирования делятся на величину M_{r_2}.

На фиг. 59 показаны графики перемещения и скоростей, построенные с помощью описанного метода.

После выполнения необходимых подстановок все три уравнения по истечении первых 10 миллисекунд принимают следующую форму:

t от .010 до T $\qquad d = 1.14 \sin (20.3t + .204) - .265$

t от 0 до $T + T_1$ $\qquad d = 1.162 \sin (17.93t + .393) - .287$

t от $T + T_1$ до $T + T_1 + T_2$ $\qquad d = 1.103 \sin (27.8t - 2.31) - .229$

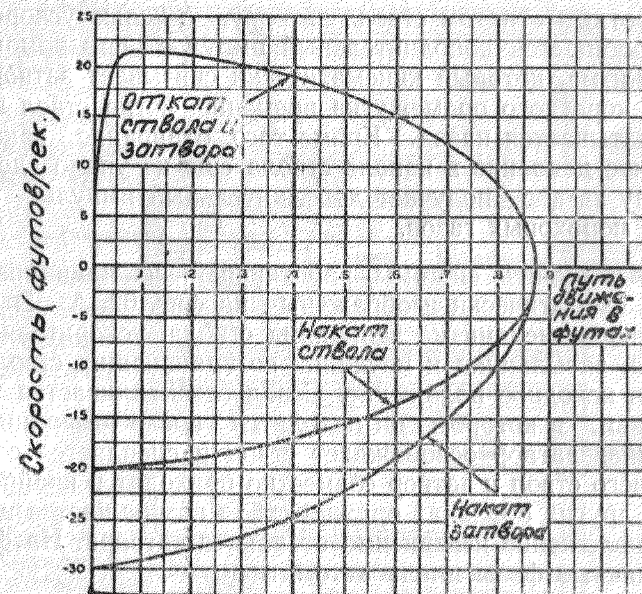
График усилий пружин показан на фиг. 60.

При проектировании иногда необходимо учитывать влияния сил, возникающих от трения или от воздействия различных механизмов оружия. Все эти силы учитываются точно так же, как и сопротивление пружин. Например, сила трения при откате является в основном величиной постоянной и может быть учтена путем увеличения значения F_0 в уравнении (2.10).

Если рассматриваемая сила (постоянная или переменная) действует только на известном участке цикла автоматики — например, сила,

потребная для снятия патрона с патроноподающего механизма, — то ее учет ведется точно так же, причем эту силу вводят в расчет методом последовательного приближения.

При проектировании автоматической системы бывает нужен график скоростей по пути движения подвижных частей. Построение этого графика не представляет особых трудностей, так как он может быть легко получен по графикам перемещений и скоростей (см. фиг. 59). На фиг. 61 показаны графики скорости затвора и ствола оружия в функции перемещения подвижных частей*.



Фиг. 61. График скорости в функции перемещения подвижных частей.

*Предлагаемый автором метод определения скорости тела, движущегося под действием пружины, слишком громоздок и недостаточно точен, так как включает в себя элементы графического построения. Гораздо проще определять скорость тела по аналитической зависимости.

$$v = \frac{dd}{dt}$$

Дифференцируя зависимость (2.10), получаем следующее выражение для скорости

$$v = \frac{KD + F_0}{\sqrt{KM_r}} \cos\left(\sqrt{\frac{K}{M_r}}\, t + \arcsin \frac{F_0}{KD + F_0}\right) + v_0,$$

где v_0 — начальное значение скорости. *(Прим. ред.)*

§ 2. СИСТЕМЫ С КОРОТКИМ ОТКАТОМ СТВОЛА

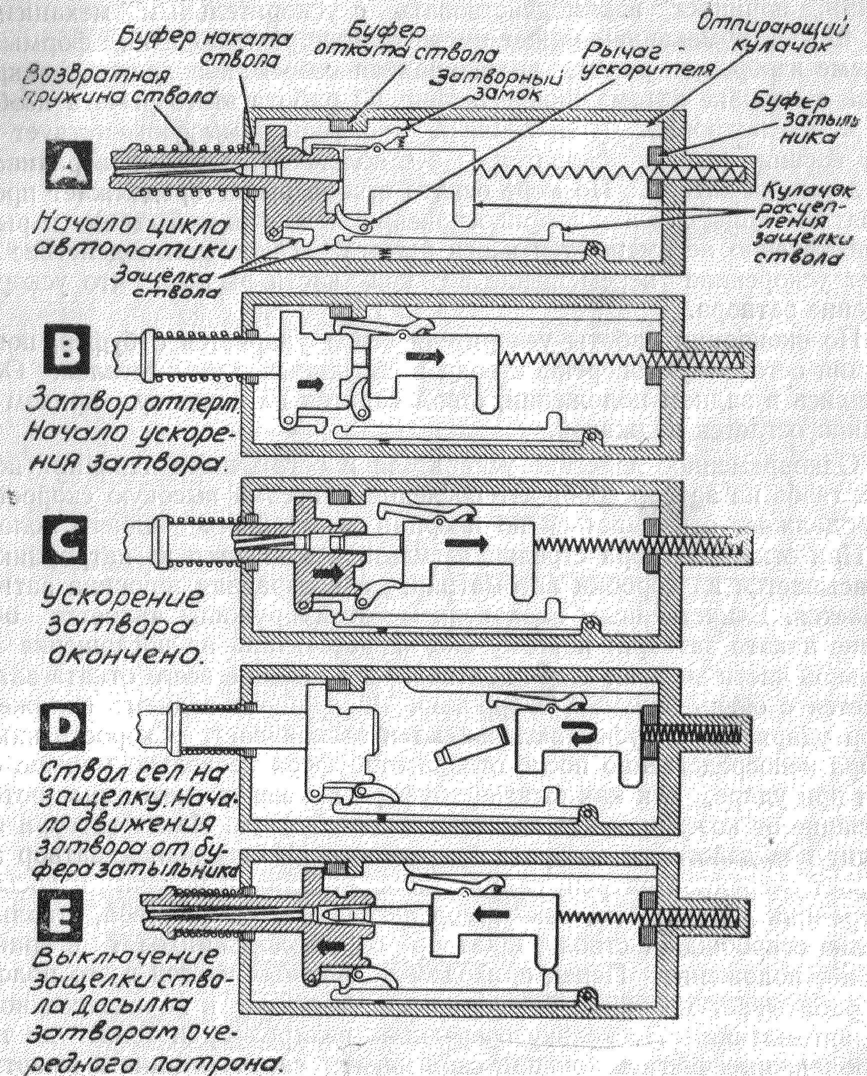
В автоматической системе с коротким откатом ствола ствол и затвор при откате остаются соединенными до тех пор, пока давление пороховых газов в канале ствола не понизится до некоторой допустимой величины. После этого энергия отката используется для отпирания канала ствола. Ствол останавливается, а затвор откатывается на расстояние, необходимое для обеспечения подачи очередного патрона.

Затвор может откатываться под действием импульса, полученного им во время совместного движения со стволом. Но, как правило, во всех системах с коротким откатом ствола затвору, с целью ускорения цикла автоматики, сообщается дополнительный импульс при помощи ускорительного механизма, который кинематически связывает затвор со стволом в течение короткого промежутка времени, когда ствол после отпирания еще откатывается назад. Кроме того, отпирание заканчивается, когда остаточное давление в канале ствола еще не упало до атмосферного, и поэтому затвор получает дополнительный импульс от остаточного давления пороховых газов.

Основные элементы системы, работающей на принципе короткого отката ствола, схематически изображены на фиг. 62, А. Эти элементы состоят из затвора, механизма запирания ствола, ускорителя, останова ствола, буфера, затыльника и пружин, возвращающих ствол и затвор после отката в исходное положение. Ствол останавливается на защелке в том положении, в котором он находится после отпирания затвора. Накатывающийся затвор освобождает ствол и сцепляется со ствольной рамой, после чего ствол и затвор совместно приходят в крайнее переднее положение. В других образцах оружия ствол возвращается в свое крайнее переднее положение независимо от наката затвора. На фиг. 62 изображены различные фазы цикла автоматики.

Описание автоматического цикла

При выстреле под действием силы отдачи ствол и затвор, соединенные вместе, откатываются. В период действия давления пороховых газов торможение, вызываемое сопротивлением пружин ствола и затвора, относительно невелико, и единственным фактором, оказывающим влияние на скорость отката, является масса откатных частей. Большие усилия отдачи, вызываемые максимальным давлением пороховых газов, действуют сравнительно недолго. Так в типичной 20-*мм* пушке с длиной ствола 5 футов (1500 *мм*) снаряд покидает канал ствола через .0023 *сек.* после воспламенения капсюля. Но уже спустя 1-2 миллисекунды после вылета снаряда из канала ствола давление в патроннике падает до безопасных для прочности гильзы пределов, и затвор может быть отперт, давление пороховых газов использовано для свободной отдачи затвора. В этот период вступает в действие механизм отпирания затвора, расцепляющий ствол и затвор (фиг. 62).



Фиг. 62. Схема системы оружия с коротким откатом ствола.

А — начало цикла автоматики;

В — затвор отперт. Начало ускорения затвора;

С — ускорение затвора окончено;

D — ствол сел на защелку. Начало движения затвора в накат;

Е — выключение защелки ствола. Досылка затвором очередного патрона.

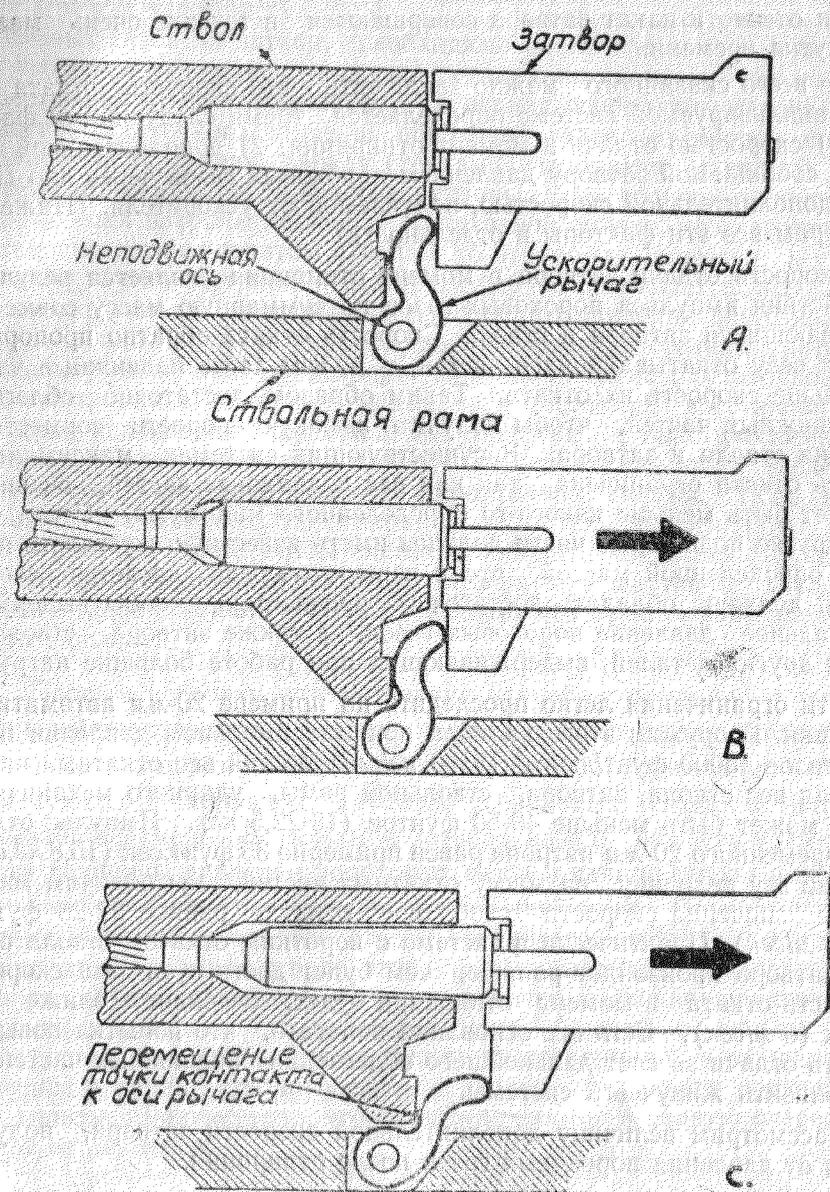
Вскоре после отпирания ствол, продолжая двигаться назад по инерции, начинает взаимодействовать с ускорительным механизмом (фиг. 62). Этот механизм может иметь самые разнообразные формы, но на схеме изображен рычаг, вращающийся на оси, неподвижно закрепленной в коробке автоматики. На фиг. 63 работа этого рычага изображена более подробно. Положение А ствольной рамы соответствует моменту касания рычага ускорителя, а в положении рычаг поворачивается и давит на затвор. По мере отката ствола рычаг продолжает проворачиваться, причем точка соприкосновения между рамой ствола и рычагом постепенно перемещается к оси рычага. Такое взаимодействие вызывает ускоренное перемещение верхней части рычага, что ускоряет движение затвора.

По окончании работы ускорителя ствол ударяется о буфер, поглощающий остаточную энергию ствола и связанных с ним деталей. Остановившись в заднем положении, ствол садится на защелку, причем его пружина остается поджатой.

Одновременное действие ускорителя и остаточного давления пороховых газов на затвор сообщает последнему весьма высокую скорость и он продолжает откатываться по инерции до крайнего заднего положения. При откате затвора стреляная гильза извлекается из патронника и выбрасывается из коробки автоматики, а возвратная пружина затвора сжимается. Единственным назначением этой пружины является обеспечение наката затвора; поэтому она не рассчитана на поглощение значительной части энергии отдачи затвора, и в течение всего отката затвор движется с очень большой скоростью. В крайнем заднем положении затвор ударяется о буфер затыльника и отскакивает. Скорость наката затвора непосредственно после отхода от буфера несколько меньше скорости при ударе, так как сжатие буфера вызывает некоторые потери, зависящие от коэффициента восстановления буфера. Накат затвора происходит под действием возвратной пружины. Накатываясь, затвор захватывает очередной патрон, снимая его с механизма подачи и досылая в патронник. Перед тем, как затвор наталкивается на ствол, ствольная защелка освобождает ствол, и затвор со стволом приходят в крайнее переднее положение. Перед приходом подвижных частей в это положение срабатывает механизм воспламенения капсюля, и начинается новый цикл автоматики. Поскольку очередной выстрел происходит до того, как подвижные части закончили свой накат, скорость наката амортизируется действием импульса пороховых газов, после чего начинается новый откат подвижных частей. Такое устройство устраняет необходимость в мощном буфере наката подвижных частей, предназначенном для поглощения лишней кинетической энергии накатывающихся частей.

Анализ работы системы

Наиболее важной особенностью системы с коротким ходом ствола является то, что она позволяет добиться высокого темпа стрельбы. Затвор отпирается немедленно после вылета снаряда из канала ствола,



Фиг. 63. Действие ускорительного механизма рычажного типа.

затем затвор, который в этот момент уже движется со значительной скоростью назад, получает очень большие ускорения под воздействием ускорителя и остаточного давления в канале ствола. При такой высокой

скорости откат и накат затвора совершаются в течение очень малого промежутка времени.

Из всего сказанного можно заключить, что скорость отката затвора в анализируемой системе определяется тремя следующими факторами: 1) скоростью отдачи в момент отпирания; 2) дополнительной скоростью, сообщаемой затвору давлением пороховых газов через дно гильзы; 3) дополнительной скоростью, получаемой от ускорителя. (Ниже мы рассмотрим все эти факторы в отдельности).

Скорость отдачи затвора в момент отпирания является результатом действия импульса пороховых газов на суммарную массу совместно откатывающихся затвора и ствола. Скорость отката обратно пропорциональная весу откатывающихся частей, т. е. чем легче подвижные части, тем больше скорость их отката. Таким образом, достаточно облегчить вес подвижных частей, чтобы получить высокую скорость совместного движения ствола и затвора. В существующих системах максимальная скорость отката ограничена, так как вес подвижных частей, очевидно, не может быть меньше какого-то определенного минимума. Ствол, затвор и другие подвижные части должны иметь известную жесткость и обладать определенной массой, что в первую очередь касается ствола, который должен обладать достаточной прочностью, чтобы выдержать максимальное давление пороховых газов, а также затвора, ствольной рамы и других деталей, выдерживающих при работе большие нагрузки.

Эти ограничения легко проследить на примере 20-*мм* автоматической пушки. В оружии этого калибра при максимальном давлении пороховых газов 45000 фунт/дюйм^2 (3160 *кг/см*^{2}) общий вес откатных частей (включая вес ствола, затвора, ствольной рамы, ударного механизма и пр.) не может быть меньше 40-50 фунтов (18-22,5 *кг*). Импульс отдачи для современного 20-*мм* патрона равен примерно 35 фунт.сек (15,8 *кг.сек*). Разделив эту величину на массу откатных частей, мы получим максимальное значение скорости свободного отката, равное 22-28 фут/сек (7,0-8,8 *м/сек*). Практически в системе с коротким откатом ствола отпирание затвора произойдет раньше, чем будет достигнута эта скорость, и скорость отката в момент отпирания будет, очевидно, ближе к 20 фут/сек (6 *м/сек*). Есть все основания полагать, что попытка повысить скорость отдачи за счет дальнейшего облегчения подвижных частей может понизить живучесть системы.

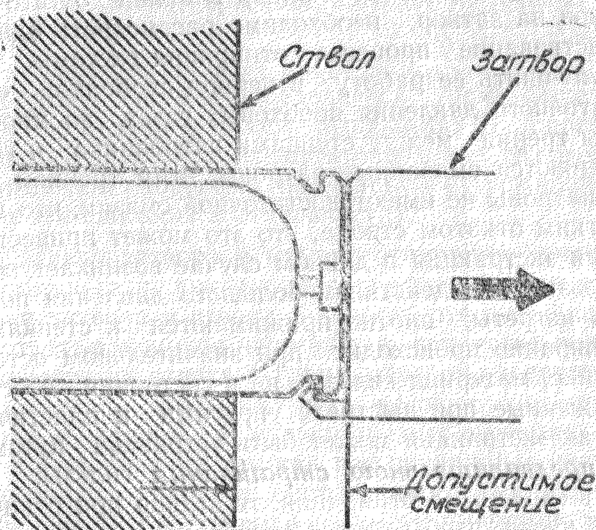
Рассмотрим величину дополнительной скорости затвора, получаемой им от давления пороховых газов после отпирания.

Действие остаточного давления пороховых газов через дно гильзы на затвор аналогично действию, имеющему место в системе с замедленной отдачей затвора, причем все конструктивные факторы, учитываемые в системах с замедленной отдачей затвора, должны быть учтены также и в системе с коротким откатом ствола. Основным фактором, влияющим на конструкцию оружия, остается при этом величина допустимого сдвига гильзы в период действия остаточного давления в канале ствола.

Прежде чем приступить к анализу влияния остаточного давления пороховых газов на затвор, необходимо рассмотреть одно конструктивное усовершенствование процесса отпирания системы, которое может существенно улучшить ее работу в период свободной отдачи затвора. Действие остаточного давления пороховых газов во многом зависит от величины силы трения между стенками патронника и гильзы. Если в системе применяются смазанные патроны, этим трением можно пренебречь, но если патроны не имеют достаточной смазки, что характерно для систем с коротким откатом ствола, то это может привести к тугой экстракции. Тугая экстракция в данном случае возникает вследствие того, что стенки гильзы под действием большого давления пороховых газов, будучи сильно нагреты, плотно прижимаются к стенкам патронника. Поскольку отпирание происходит при значительном остаточном давлении в патроннике, материал гильзы не в состоянии восстановить свои размеры, искаженные при выстреле упругими и пластическими деформациями. Тугая экстракция может быть устранена путем введения так называемого ***предварительного страгивания*** гильзы. Если эта мера осуществлена в механизме отпирания, то затвор при отпирании несколько отжимается назад, чтобы слегка освободить конус гильзы от стенок патронника. В дальнейшем откат затвора под действием давления пороховых газов в канале ствола происходит без всякого защемления стреляной гильзы.

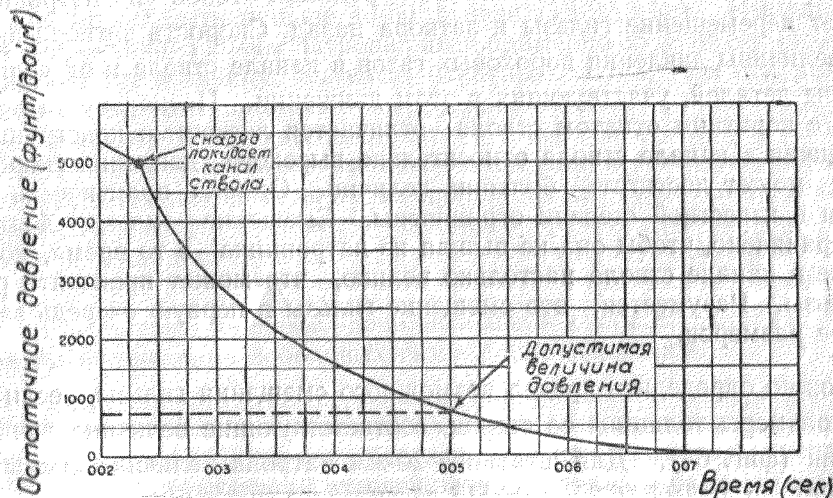
Первым условием осуществления раннего отпирания и связанного с ним действия пороховых газов на затвор через гильзу является своевременность отпирания. В момент начального страгивания гильзы и последующего отпирания давление пороховых газов в патроннике вызывает перемещение гильзы и затвора назад. Скорость затвора зависит от величины давления пороховых газов в канале ствола и от величины массы деталей, участвующих в этом движении. Поскольку затвор в системе с коротким откатом ствола отличается легкостью конструкции, при наличии в канале ствола относительно высокого давления скорость затвора может достигать больших величин. Однако практически эти скорости в известной степени ограничены. Смещение гильзы должно быть ограничено, чтобы она не вышла из патронника в то время, когда давление в канале ствола настолько велико, что может произойти разрыв гильзы. Разумеется, это смещение гильзы в первую очередь зависит от ее размеров.

Можно определить предел возможного смещения гильзы, если известны размеры толщины ее стенок, соответствующие величине данного смещения (фиг. 64). Для штатного 20-*мм* патрона величина смещения составляет .25 дюйма (6,25 *мм*). По достижении гильзы этого положения давление в канале ствола не должно превышать 750 фунт/дюйм^2 (52,7 *кг/см*^{2}), иначе может произойти разрыв гильзы.



Фиг. 64. Предельная величина смещения гильзы назад.

На фиг. 65 показано изменение остаточного давления в канале ствола по времени для рассматриваемых оружия и патрона. Как видно из графика, давление в канале ствола падает до 750 фунт/дюйм^2 (52,7 *кг/см*^{2}) через .005 *сек.* после воспламенения порохового заряда



Фиг. 65. График изменения остаточного давления в канале ствола по времени для штатного 20-мм патрона.

Поскольку вес затвора в системе с коротким откатом ствола всегда минимален, единственным средством ограничения величины смещения затвора является время его отпирания. Если затвор отопрется слишком рано, он получит слишком большой импульс от давления пороховых газов и его средняя скорость будет так велика, что смещение затвора и гильзы превысит .25 дюйма (6,25 *мм*) до того, как остаточное давление упадет ниже 750 фунт/дюйм^2 (52,7 *кг/см*^{2}). Если же отпирание слишком задержится, то импульс, передаваемый затвору, будет настолько мал, что от использования остаточного давления пороховых газов не будет получено никакого эффекта.

Идеальным временем отпирания затвора заданного веса будет такое время, которое обеспечит смещение затвора на .25 дюйма (6,25 *мм*) при давлении, снизившемся до 750 фунт/дюйм^2 (52,7 *кг/см*^{2}).

Рассмотрим вопрос о влиянии веса затвора более подробно. Затвор необходимо проектировать так, чтобы наилучшим образом использовать эффект его отдачи. Но как было установлено, возможность повышения скорости затвора ограничена вероятностью разрыва гильз при повышении скорости затвора. Это ограничение характеризуется величиной перемещения затвора .25 дюйма при остаточном давлении в канале ствола не более 750 фунт/дюйм^2. Остается, следовательно, решить, каким образом ограничить движение затвора и одновременно повысить его скорость. Эту задачу можно решить путем подбора соответствующего веса затвора и времени его отпирания.

Основным фактором, определяющим условия этого подбора, является величина допустимого смещения .25 дюйма. Если время этого смещения достаточно велико, то, очевидно, скорость затвора будет небольшой. Если же сократить время, то средняя скорость смещения затвора может быть значительно увеличена. Например, предположим, что затвор отпирается за .002 *сек.* до того, как будет достигнуто безопасное остаточное давление пороховых газов, что произойдет к моменту времени .005 *сек.* Затвор может пройти .25 дюйма в течение .002 *сек.*, причем скорость затвора на этом участке

$$V_{av} = \frac{D}{t} = \frac{.25}{12}\,\frac{1}{.002} = 10.4 \text{ фут/сек } (3{,}13 \text{ м/сек.})$$

Допустим, что затвор отпирается только за .001 *сек.* до того момента, как будет достигнуто безопасное давление. В том случае он сможет пройти путь .25 дюйма со средней скоростью

$$V_{av} = \frac{D}{t} = \frac{.25}{12 \cdot .001} = 20.8 \text{ фут/сек } (6{,}25 \text{ м/сек.})$$

Таким образом, уменьшая время действия отдачи затвора и не увеличивая при этом допустимого смещения затвора, можно увеличить его скорость. Разумеется, надо иметь в виду, что уменьшая время действия отдачи затвора, мы тем самым уменьшаем импульс отдачи, который может быть использован для увеличения скорости затвора. Следовательно, чтобы при уменьшении времени действия отдачи увеличить скорости затвора, нужно одновременно уменьшить его вес. Так, если скорость 10.43 фут/сек (в первом примере) может быть достигнута при весе затвора 8 фунтов (3,6 *кг*), то в два раза большая скорость (второй пример) может быть получена лишь при уменьшении веса затвора в четыре раза, полагая, что среднее остаточное давление пороховых газов остается без изменения. Фактически же, если учесть, что остаточное давление со временем уменьшается и что для второго примера среднее остаточное давление будет значительно меньше, то уменьшение веса затвора должно быть большим. Практически уменьшение веса затвора должно быть шестикратным, что дает нам для второго примера вес, равный 1.3 фунта (0,60 *кг*) (для реальной системы это едва ли допустимо).

Очевидно, что значительное увеличение средней допустимой скорости затвора при уменьшении времени действия отдачи затвора может быть осуществлено только путем резкого уменьшения его веса. Хотя большое уменьшение веса затвора практически нецелесообразно, для нас важно отметить, что использование отдачи затвора в системах с коротким откатом ствола может дать увеличение средней скорости затвора, необходимое для повышения темпа стрельбы.

Однако использование отдачи затвора для повышения темпа стрельбы возможно лишь при условии точного ограничения времени отпирания затвора и при тщательной отработке его конструкции, рассчитанной на оптимальное сокращение веса.

Рассмотрим вопрос о применении ускорителя. Как было установлено, увеличение скорости затвора при помощи специального ускорителя должно быть согласовано с допустимым остаточным давлением пороховых газов в канале ствола (в разбираемом случае 750 фунт/дюйм^2). Очевидно, начало работы ускорителя должно быть отнесено к тому моменту, когда давление в канале ствола упадет до указанной величины. Если это условие не будет выполнено, введение ускорителя может оказаться бесполезным. Как отмечалось выше, скорость затвора должна быть ограничена, чтобы перемещение затвора не превысило .25 дюйма, пока давление пороховых газов в канале ствола не упадет до 750 фунт/дюйм^2. Поскольку усилие отдачи затвора сообщает ему скорость, необходимую для смещения на .25 дюйма, при указанном давлении, то, очевидно, включение ускорителя не является ни необходимым, ни желательным. Однако после того, как давление в канале ствола упадет ниже 750 фунт/дюйм^2 и опасность разрыва гильзы исчезнет, ограничивать среднюю скорость отката затвора уже нежелательно. Именно в этот момент и целесообразно включить в работу автоматики ускоритель, который увеличит скорость отката затвора.

Существует несколько важных моментов, касающихся работы ускорителя, которые необходимо осветить. Во-первых, ускоритель должен быть рассчитан на плавную и принудительную работу, чтобы он мог ускорить откат затвора без чрезмерных ударов и трения. Это особенно необходимо потому, что работа ускорителя длится в течение нескольких миллисекунд и имеет характер удара. Если ускоритель не будет работать достаточно плавно, то неизбежны резкие удары, нажоги на рабочих поверхностях, деформации и, как результат этого, поломки. Так как при столь быстрой передаче энергии от ствола к затвору на сопряженных деталях возникают значительные нагрузки, все детали ускорителя должны отличаться достаточной прочностью и быть подвергнуты тщательной термической обработке, которая обеспечила бы им высокие прочностные характеристики и высокую износостойкость.

Идеальных схем ускорителя нет, хотя очень многие конструкции ускорителей используются с большим успехом.

Ниже приводятся основные требования, предъявляемые к ускорителям:

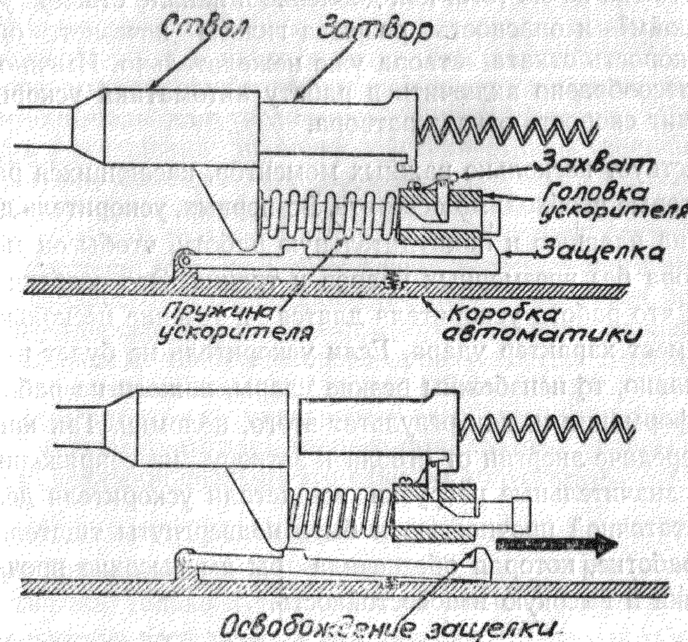
1. Механизм ускорителя должен быть по возможности более простым.

2. Ускоритель должен надежно работать.

3. Схема ускорителя должна быть такова, чтобы детали механизма занимали минимальный объем и в то же время были бы достаточно прочны и не требовали точной пригонки.

4. Схема ускорителя должна быть достаточно эффективна, т. е. коэффициент передачи кинетической энергии от ствола к затвору должен быть максимальным.

Анализируя факторы, влияющие на передачу энергии от ствола к затвору, рассмотрим схему ускорителя, изображенную на фиг. 66. Ускоритель этого типа характерен тем, что ствол при откате сжимает его пружину. Одновременно с откатом ствола откатывается назад и затвор. В некоторой точке пути их отката выступ на дне затвора входит в соприкосновение с захватом, расположенным на верхней части головки ускорителя. После этого ствол выключает защелку ускорителя и разжимающаяся пружина ускорителя отбрасывает затвор назад.



Фиг. 66. Схема ускорительного механизма пружинного типа.

Не вдаваясь в оценку сложности отладки работы защелки и захвата, допустим, что вся кинетическая энергия ствола аккумулируется пружиной ускорителя и что вся аккумулированная энергия передается затвору без потерь. Примем, что вес ствола равен 45 фунтам (20,4 *кг*), а вес затвора — 5 фунтам (2,27 *кг*). Допустим далее, что скорость ствола к моменту начала сжатия пружины ускорителя равна 20 фут/сек (6 *м/сек*), а скорость затвора перед освобождением защелки ускорителя — 32 фут/сек (9,6 *м/сек*) (тем самым учитывается скорость, приобретенная затвором при отдаче под действием остаточного давления пороховых газов). Начальная кинетическая энергия ствола (т. е. количество энергии, которое по предположению аккумулировано в пружине ускорителя)

$$E_1 = \frac{1}{2}\,\frac{W_1}{g}V_1^2 = \frac{1}{2}\,\frac{45}{32.2}\,20^2 = 280 \text{ фунт.фут } (37{,}4 \text{ кгм}).$$

Кинетическая энергия затвора до действия ускорителя

$$E_2 = \frac{1}{2}\,\frac{W_2}{g}V_2^2 = \frac{1}{2}\,\frac{5}{32.2}\,32^2 = 79.5 \text{ фунт.фут } (10{,}65 \text{ кгм}).$$

Поскольку мы допустили, что вся кинетическая энергия ствола будет посредством пружины ускорителя передана затвору, то окончательно, кинетическая энергия затвора

$$E_3 = E_1 + E_2 = 280 + 79{,}5 = 359.5 \text{ фунт.фут},$$

а его скорость:

$$V_3 = \sqrt{\frac{2E_3 \cdot g}{W}} = \sqrt{\frac{359.5 \cdot 32.2}{5}} = 68.1 \text{ фут/сек } (20{,}4 \text{ м/сек}).$$

Следовательно, даже в идеальных условиях, при 100%-ной передаче энергии от ствола к затвору, скорость последнего увеличивается только вдвое. Коэффициент увеличения будет изменяться в зависимости от соотношения масс ствола и затвора, увеличиваясь с ростом этого соотношения, и в меньшей степени будет зависеть от величины начальных скоростей ствола и затвора*.

Однако несмотря на это величины, полученные нами, более или менее совпадают с результатами отстрела 20-*мм* пушки. Конечно, при реальном проектировании попытка полностью остановить ствол на пружине ускорителя не может быть признана целесообразной, так как значительно снижает коэффициент передачи энергии ускорительного механизма. Кроме того, в реальных условиях неизбежны потери скорости на трение и при ударах, а также ряд других потерь, возникающих в любом механизме, что также значительно снижает окончательную скорость затвора.

Учитывая все это, можно утверждать, что увеличение скорости затвора даже при удачной конструкции ускорительного механизма не может быть больше 50% начальной скорости (т. е. скорости затвора до его ускорения).

---

*Коэффициент увеличения скорости затвора при передаче энергии от ствола к затвору можно определить по зависимости

$$K_0 = \sqrt{1 + X\frac{m_1}{m_2 K^2}},$$

где К — коэффициент, показывающий насколько увеличилась скорость затвора за счет отдачи после отпирания;

Х — коэффициент, показывающий какая часть энергии ствола передана затвору.

Для рассматриваемого примера *(Прим. ред.)*,

$$K = \frac{32}{20} = 1.6$$

$$X = 1$$

$$K_0 = \sqrt{1 + \frac{45}{5 \cdot 1.6^2}} = 2.13$$

Следует отметить, что те же выводы могут быть сделаны и в отношении ускорителей других типов, например, кулачковых или рычажных. Простое увеличение передаточного числа в рычажном ускорителе может не увеличить скорость затвора. Откатывающийся ствол обладает вполне определенным количеством энергии и, как бы ни был велик передаточный коэффициент, изменение скорости отката затвора должно быть ограниченным. Увеличение передаточного числа в рычажном ускорителе до предела приводит не к повышению скорости затвора, а лишь к увеличению напряжений в деталях механизма и к появлению ударных нагрузок.

В приведенном анализе упоминались три основные фактора, определяющие величину скорости затвора в системе с коротким откатом ствола:

1) скорость отдачи ствола и затвора при их совместном движении;

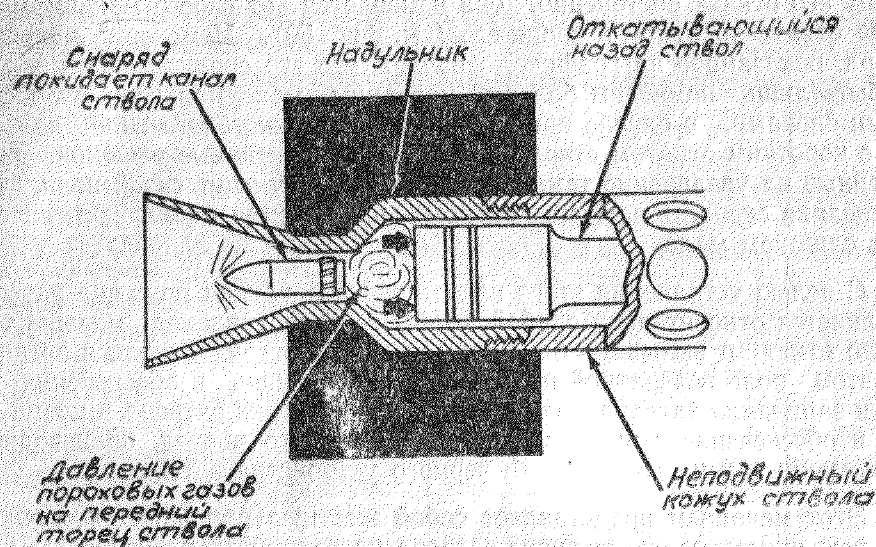
2) дополнительная скорость затвора, обусловленная его отдачей после отпирания;

3) увеличение скорости затвора под действием механизма ускорения.

Эти факторы, как правило, используются одновременно, так как конечной целью применения системы с коротким откатом ствола является увеличение темпа стрельбы. Применение всех этих факторов в каждом отдельном случае рассматривается с точки зрения максимального увеличения скорости затвора при условии сохранения безопасности и надежности работы автоматики.

Условия, необходимые для увеличения скорости затвора, могут быть сведены к следующему. Общий вес подвижных частей должен быть минимальным, чтобы их скорость до отпирания была максимальной. Вес затвора должен быть минимальным и его отпирание должно производиться в определенный момент, чтобы использовать отдачу затвора для увеличения его скорости, не вызывая разрыва гильзы. Наконец, ускоритель должен включаться в работу в тот момент, когда остаточное давление в канале ствола упадет до допустимой величины. Ускорительный механизм должен проектироваться с расчетом получения максимального коэффициента передачи энергии от ствола к затвору.

В настоящем анализе необходимо остановиться еще на одном методе увеличения темпа стрельбы системы с коротким откатом ствола — на применении надульника, или дульного усилителя отдачи, показанного на фиг.67. Надульник устанавливается у дульного среза ствола оружия и обеспечивает увеличение давления пороховых газов на передний торец ствола. Это позволяет получить более высокие скорости отдачи и тем самым увеличить начальную скорость затвора, а также энергию, используемую для его ускорения. Кроме того, в некоторых конструкциях при наличии надульника изменение характера давления в периоде последействия пороховых газов может вызвать увеличение скорости отдачи затвора после его отпирания.



Фиг. 67. Примерная схема усилителя отдачи (надульника).

Хотя надульник может быть с успехом использован для увеличения темпа стрельбы в системе с коротким откатом ствола, значительно увеличивать энергию отката при помощи надульника нецелесообразно. Если действие надульника слишком велико, скорость отката подвижных частей резко повышается, что может вызвать появление ударов в системе автоматики и нарушение живучести ее деталей.

Весь проведенный анализ был посвящен методам увеличения скорости отката затвора. Теперь следует рассмотреть движение затвора после сообщения ему требуемой скорости. Как известно, затвор приобретает свою максимальную скорость в самом начале отката, а затем движется по инерции. Для обеспечения подачи очередного патрона затвор должен отойти назад на расстояние, равное по крайней мере полной длине патрона. Затем затвор останавливается и обеспечивается его накат для досылки патрона в патронник и для запирания системы.

В некоторых системах это достигается при помощи мощной возвратной пружины, поджимаемой при откате затвора. Эта пружина аккумулирует кинетическую энергию затвора на всем пути его отката и, поглотив эту энергию, останавливает затвор. Конструкция пружины должна быть такова, чтобы затвор остановился в тот момент, когда его откат будет достаточно велик для прохода очередного патрона. После этого сжатая возвратная пружина досылает затвор вперед, заканчивая цикл автоматики.

Подобная конструкция оружия имеет тот серьезный недостаток, что снижает темп стрельбы. Поскольку скорость затвора уменьшается

к концу его отката постепенно, она изменяется от своего максимума в начале отката до нуля в конце его (см. фиг. 59). Изменение скорости затвора, показанное на графике, означает, что его средняя скорость может быть лишь немногим больше половины максимальной скорости. Иными словами, в случае применения автоматики такого типа для систем с коротким откатом ствола никакие конструктивные решения, направленные на увеличение темпа стрельбы, не достигнут своей цели, так как средняя скорость затвора на всем протяжении цикла автоматики будет слишком мала.

С целью устранения этого недостатка возвратная пружина затвора выполняется относительно слабой, чтобы ее сопротивление меньше тормозило откат и вызывало бы минимальные потери скорости затвора. При этом роль возвратной пружины сводится лишь к обеспечению наката и запирания затвора в конце наката. Остановка затвора в конце отката и обеспечение ему импульса, направленного вперед, производится при помощи так называемого буферного устройства-затыльника.

Этот механизм представляет собой жесткую пружину, поглощающую всю кинетическую энергию затвора на сравнительно коротком пути и затем отдающую ее затвору. Накат затвора при помощи буфера затыльника имеет настолько резкий характер, что может быть классифицирован как упругий удар с последующим отскоком. Для получения высокого темпа стрельбы затвор должен накатываться с большой скоростью. Не будь потерь скорости из-за коэффициента восстановления буфера затыльника, скорость наката затвора была бы равна скорости его отката, что, безусловно, явилось бы идеальным условием. Однако на практике коэффициент восстановления буфера затвора значительно меньше единицы и достигает в лучшем случае величины .6-.7, т. е. величина скорости наката составляет 60—70% скорости удара затвора о буфер. Такой результат можно считать удовлетворительным, однако, если коэффициент восстановления уменьшится (что в первую очередь зависит от конструкции буфера и затыльника), то скорость наката затвора может значительно упасть; следовательно, темп стрельбы резко снизится.

В связи с этим следует отметить, что затыльник и его буфер предназначены в основном для перемены направления движения затвора с минимально возможными потерями энергии. Во многих случаях под буфером понимается устройство, служащее только для поглощения энергии удара, а не для сохранения ее с целью обеспечения действенного отскока. В данном случае перед буфером поставлена обратная задача.

Если один существенный момент в поведении подвижных частей системы с коротким откатом ствола — это последовательность явлений в конце наката затвора, в момент перехода от окончания первого цикла автоматики к началу второго. Последовательность отдельных операций этой части автоматического цикла имеет существенное значение. Накат затвора, который происходит с большой скоростью, и возвращение в крайнее переднее положение тяжелого ствола может сопровождаться

сильными ударами и вибрацией всей системы, если при проектировании не было уделено достаточного внимания вопросу синхронизации этих операций и поглощению кинетической энергии накатывающихся частей.

Возникающие при этом проблемы обостряются и тем, что при высокой скорострельности оружия очередной выстрел происходит в тот момент, когда вибрации, вызванные предыдущим выстрелом, еще не затухли. В этих условиях работа автоматики может оказаться нарушенной, причем в условиях частых ударных нагрузок могут возникнуть напряжения, превышающие для ряда деталей оружия допустимые. Значение правильной последовательности отдельных операций легко проследить на примере механизма, описанного в самом начале раздела в качестве типичной системы с коротким откатом ствола. В этом механизме ствол в конце отката останавливается на шептале и остается в таком положении до тех пор, пока затвор не начнет накатываться. Незадолго до того, как накатывающийся затвор доходит до ствола, последний снимается с шептала и под действием пружины начинает самостоятельно двигаться вперед. Таким образом, в тот момент, когда затвор касается рычага ускорителя, ствол уже движется вперед. Поскольку затвор накатывается со скоростью, значительно превышающей скорость движения ствола, рычаг ускорителя уменьшает скорость затвора и увеличивает скорость ствола.

Если система спроектирована правильно, этот процесс начинается с легкого удара, а затем скорость затвора и ствола плавно выравнивается и останавливается на величине, значительно меньшей, чем скорость затвора до удара о рычаг ускорителя. Таким образом, в тот момент, когда затвор ударяется о ствол и сцепляется с ним, скорость удара резко уменьшается. Поскольку ствол в момент удара не сидит на шептале, а накатывается, резкость удара затвора по казенному торцу ствола значительно смягчается. После этого ствол и затвор накатываются совместно и ударяются о буфер наката или в противоотскок. Однако, прежде чем скорость наката снизится до нуля, очередной патрон, досланный в патронник, воспламенится и произойдет новый выстрел. При этом импульсу давления пороховых газов, направленному назад, противостоит энергия наката. Подвижные части останавливаются, и начинается их откат. Хотя направление движения подвижных частей изменяется при этом за весьма короткий промежуток времени, тем не менее очередной выстрел смягчает удар за счет упругости пороховых газов и работа автоматики на этом участке происходит достаточно плавно.

Следует отметить, что использование части импульса пороховых газов на торможение подвижных частей в их крайнем переднем положении уменьшает скорость отдачи и тем самым может несколько снизить темп стрельбы. Однако возникающие при этом потери незначительны и компенсируются плавностью и безударностью работы автоматики.

Математический анализ системы

Некоторые моменты математического анализа системы с коротким откатом ствола во многом зависят от механизмов, используемых для выполнения определенных операций автоматического цикла. Поэтому невозможно установить какой-то единый метод расчета, пригодный для всех систем с коротким откатом ствола. Правда, операции автоматического цикла имеют между собой много схожего, что оправдывает намерение проследить на одном конкретном примере метод анализа всех систем с коротким откатом ствола тем более, что взятый пример более или менее типичен.

Для анализа системы применена методика, подобная уже использовавшейся ранее, за исключением отдельных моментов, касающихся некоторых специфических проблем, связанных с использованием системы автоматики с коротким откатом ствола. Так же как и ранее, в настоящем анализе исследование касается в основном движения ствола и затвора и определения сил, нагружающих эти детали. В процессе анализа не рассматриваются конструкции отдельных узлов оружия. Не приводятся также подробные расчеты по определению сил трения или нагрузок, вызванных работой таких вспомогательных механизмов, как механизм подачи, стреляющий и запирающий механизмы. Эти нагрузки оказывают на общий энергетический баланс системы лишь второстепенное влияние. Во всяком случае, они могут быть дополнительно учтены на более отдаленных этапах проектирования, т. е. тогда, когда конструкция механизмов уже достаточно разработана. На этих этапах предварительный анализ системы может быть легко изменен или дополнен.

Анализ основан на допущении, что для системы подобран штатный патрон с хорошо известными баллистическими характеристиками. Допускается также, что в распоряжении расчетчика имеются графики, иллюстрирующие изменение скорости снаряда и давления пороховых газов в канале ствола по времени (см. фиг. 52, 53, 54)*.

Выше при описании факторов, влияющих на работу автоматики с коротким откатом ствола, особое внимание было уделено проблеме снижения до минимума веса подвижных частей с целью обеспечения максимального темпа стрельбы. Было отмечено, что вес откатных частей в любом оружии зависит не только от требований прочности, жесткости и живучести, но в значительной степени определяется теми конструктивными формами, которые выбраны конструктором для создания данной автоматической системы. Например, конструктор может выбрать вариант ствола с тяжелой рамой, имеющей направляющие для затвора, или может перенести эти направляющие на стенки коробки автоматики. В последнем случае вес подвижных частей будет, безусловно, меньше.

*В тех случаях, когда часть этих данных отсутствует, расчет может быть проведен в первом приближении с использованием баллистических характеристик, определенных на основе методики, изложенной в пособии по внутренней баллистике.

Таким образом, вес подвижных частей не может быть определен с достаточной точностью до тех пор, пока не будет спроектирован ствол и не будут в общих чертах нанесены контуры механизма отпирания затвора, что позволит судить в первом приближении о их возможном весе.

В процессе предварительного проектирования необходимо также установить величину пути, проходимого подвижными частями при работе автоматики. Разумеется, окончательные размеры и вес некоторых подвижных частей могут быть установлены лишь после того, как будут выяснены усилия, действующие на эти детали в результате ускорений и ударов. Все же примерный вес может быть установлен с точностью, достаточной для расчетного определения действующих сил. Именно эти расчеты и являются предметом настоящего анализа.

Хотя приводимый ниже расчет относится к вполне определенному 20-*мм* патрону и стволу, общие принципы расчета применимы ко всем системам с коротким откатом ствола.

При расчете будут определены:

1) условия свободного отката;
2) оптимальное время отпирания системы;
3) данные, необходимые для проектирования ускорителя;
4) характеристики возвратных пружин ствола и затвора и данные, необходимые для проектирования буферной пружины затыльника;
5) графики, показывающие изменение скорости ствола и затвора по времени.

В процессе проведения расчетов будут выведены и обоснованы следующие математические зависимости:

1) уравнения скорости и количества движения для периода нахождения снаряда в канале ствола;
2) выражение для скорости свободного отката;
3) выражение для времени остаточного давления пороховых газов в канале ствола;
4) формулы, определяющие тормозящее действие пружин.

1. Условия свободного отката

Как уже отмечалось, если оружие, установленное на лафете, не встречает при откате никаких препятствий, то импульс силы отдачи сообщает оружию количество движения, равное количеству движения снаряда и пороховых газов.

За время нахождения снаряда в канале ствола соотношение количества движения может быть выражено равенством

$$M_r v_{r_f} = M_p v_p + M_c v_c \qquad (2.17)$$

Поскольку пороховые газы, учитывая турбулентный характер процесса, можно считать однородным телом, следует допустить, что центр массы газов движется вперед со скоростью, равной половине скорости

снаряда. В действительности это не совсем верно, так как объем, занимаемый газами, распределен неравномерно по длине канала ствола. Тем не менее такое допущение вполне соответствует степени точности проводимого анализа и уравнение (2.17) может быть записано в следующем виде:

$$M_r v_{r_f} = M_p v_p + M_c \frac{v_p}{2} = \left(M_p + \frac{M_c}{2}\right) v_p \tag{2.18}$$

Следует отметить, что равенство количества движения, выражаемое уравнением (2.18), не нарушается внутренними силами трения, препятствующими продвижению снаряда, или силами сопротивления врезанию полей нарезов в ведущий поясок снаряда. Хотя все эти силы и тормозят движение снаряда и пороховых газов вперед, они одновременно создают равные и направленные в противоположную сторону реакции на ствол, вызывающие соответствующее замедление отката ствола (или оружия). Иными словами, внутренние сопротивления лишь уменьшают эффективный импульс, вызывающий движение, но не нарушают равенство количества движения.

Решая уравнение (2.18) относительно v_{r_f}, мы получаем скорость свободного отката по времени до момента вылета снаряда из канала ствола

$$v_{r_f} = \frac{M_p + \frac{M_c}{2}}{M_r} v_p = \frac{W_p + \frac{W_c}{2}}{W_r} v_p \tag{2.19}$$

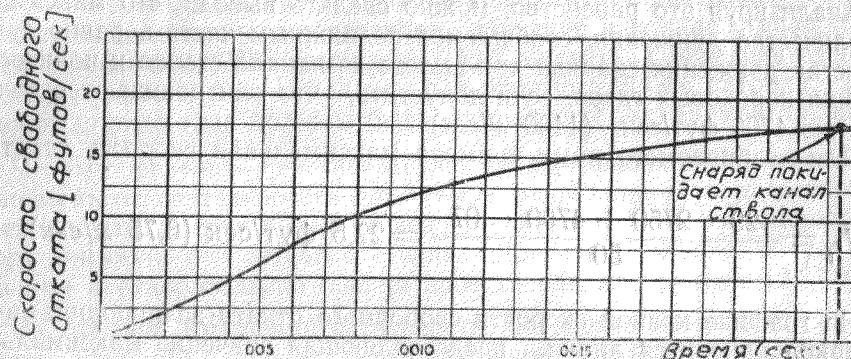
Вес снаряда и порохового заряда известен, а вес подвижных частей, как указывалось выше, мы знаем из предварительного проекта. Скорость снаряда для каждой отметки времени нам также известна по соответствующим баллистическим графикам (фиг. 53). Таким образом, ординаты скорости свободной отдачи для любой отметки времени могут быть получены путем умножения соответствующей ординаты графика скорости снаряда на величину

$$\frac{W_p + \frac{W_c}{2}}{W_r}$$

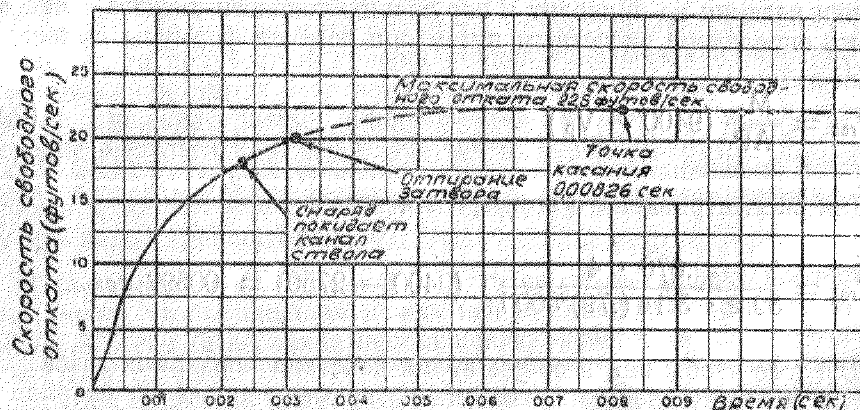
Допуская, что вес подвижных частей 20-*мм* пушки равен 50 фунтам, получаем величину

$$\frac{W_p + \frac{W_c}{2}}{W_r} = \frac{.029 + \frac{.07}{2}}{50} = .00650$$

Таким образом, до вылета снаряда из канала ствола скорость подвижных частей $v_{r_f} = .00650\ v_p$ фут/сек. График, построенный с помощью этого выражения, показан на фиг. 68 и 69. (На фиг. 69 масштаб времени изменен, чтобы показать, как изменяется скорость, когда снаряд покидает канал ствола).



Фиг. 68. Скорость свободного отката в период нахождения снаряда в канале ствола.



Фиг. 69. Скорость свободного отката перед отпиранием.

Характер изменения скорости свободного отката после вылета снаряда из канала ствола не может быть установлен по уравнению (2.19), так как снаряд и значительная часть пороховых газов уже не являются частью системы. Поскольку давление пороховых газов в период последействия не может быть выражено простыми формулами, применяется

специальный метод, основанный на том, что максимальная скорость свободной отдачи может быть с достаточной точностью выражена формулой

$$V_{r_f} = \frac{W_p \cdot V_p + 4700\, W_c}{W_r} \qquad (2.20)$$

Анализируя это равенство, можно сделать вывод, что максимальное количество движения, сообщаемое подвижным частям, равно сумме количества движения снаряда при вылете из канала ствола и количества движения пороховых газов, если допустить, что они покидают ствол со скоростью 4700 фут/сек. (1400 *м/сек*).

Для разбираемого нами примера максимальная скорость отката

$$V_{r_f} = \frac{.29 \cdot 2750 + 4700 \cdot .07}{50} = 22.5 \text{ фут/сек } (6{,}75 \text{ м/сек})$$

На графике кривой скорости свободного отката за пиродинамический период наносится линия, представляющая значение максимальной скорости свободного отката, и кривая, полученная по уравнению (2.19) экстраполируется до касательной к этой линии.

Точка касания дает отметку времени, при которой остаточное давление пороховых газов становится равным атмосферному и потому более не вызывает увеличения скорости отката. Хотя ошибка в нахождении точки касания не приводит к нарушению точности расчета, она может быть определена расчетным путем при помощи формулы Валье:

$$T_{res} = \frac{M_c}{AP}(9400 - V_p) \qquad (2.21)$$

Для рассматриваемого примера это время

$$T_{res} = \frac{.070 \cdot 4}{32.2 \cdot 3.14\,(.79)^2 5000} \cdot (9400 - 2750) = .00592 \text{ сек.}$$

Для того чтобы найти общее время действия пороховых газов, полученную величину следует прибавить ко времени движения снаряда по каналу ствола:

$$T_{res} = .00234 + .00592 = .00826 \text{ сек.}$$

График скорости свободного отката, приведенный на фиг. 69, полностью не может быть применен к условиям отката в системе с коротким ходом ствола, поскольку отпирание затвора происходит в то время, когда остаточное давление пороховых газов еще не сравнялось с атмосферным.

2. *Действие свободной отдачи затвора в период времени, предшествующий включению ускорителя, и определение времени отпирания*

Рассмотрим влияние отдачи на скорость затвора в период времени между отпиранием затвора и включением ускорителя. Как уже отмечалось, идеальные условия для отдачи затвора заключаются в том, чтобы затвор сместился на .25 дюйма (6,25 *мм*) относительно ствола за время, в течение которого остаточное давление в канале ствола понижается до величины 750 фунт/дюйм² (52,7 *кг/см²*). Приведенные числовые данные действительны только для штатного 20-*мм* патрона, а для патронов другого типа должны быть установлены экспериментально.

Чтобы определить действие отдачи затвора необходимо рассмотреть его скорость относительно ствола. После отпирания затвора остаточное давление в канале ствола уже не действует на ствол, а только сообщает затвору движение относительно ствола. Допустим, что вес затвора на основании предварительной оценки проекта равен 5 фунтам (2,27 *кг*).

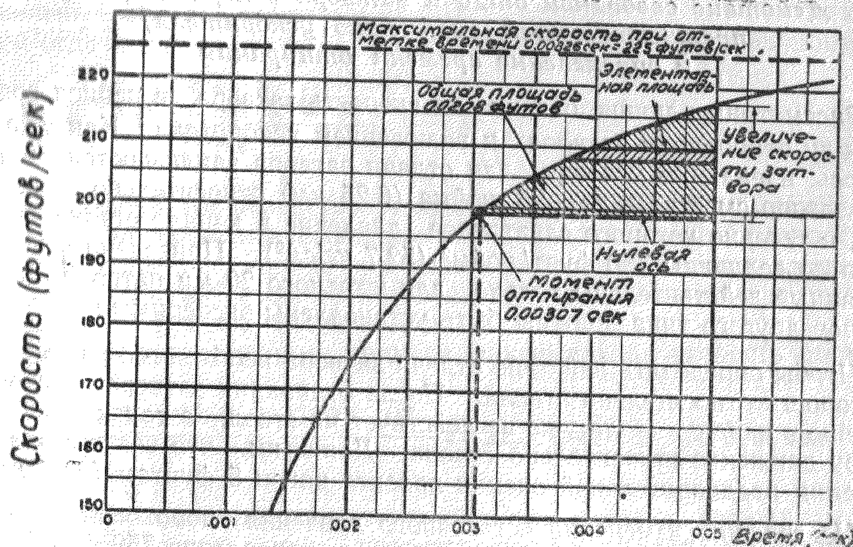
Из графика изменения остаточного давления пороховых газов по времени (фиг. 65) следует, что остаточное давление 750 фунт/дюйм² соответствует отметке времени .005 *сек*. Задача состоит в том, чтобы определить, когда нужно отпереть затвор, чтобы его перемещение относительно ствола, равное .25 дюйма, было закончено при отметке времени .005 *сек*.

Эта задача может быть решена с помощью данных графика скорости (фиг. 69). Если умножить ординаты этого графика на массу откатных частей, то полученный график будет показывать изменение количества движения ствола и затвора в любой момент времени. Так как количество движения равно приложенному импульсу, график покажет изменение импульса или, что то же самое, величину импульса в любой момент времени. После отпирания импульс будет приложен к затвору. Разделив каждую ординату графика импульса на массу затвора, можно получить новый график (фиг. 70).

Теперь необходимо установить, где на этом графике провести нулевую линию, чтобы площадь между ней и кривой скорости до отметки времени .005 *сек*. была равна перемещению затвора на .25 дюйма. (Поскольку этот график является графиком скорости по времени, очевидно, площадь под кривой представляет собой величину перемещения затвора).

Проводим вертикаль через отметку времени .005 *сек*. Затем наносим ряд горизонталей, добиваясь того, чтобы площадь, ограниченная кривой скорости, горизонталью и вертикальной прямой, равнялась .25 дюйма. Абсцисса точки пересечения горизонтали, ограничивающей нижний предел этой площади, с кривой скорости и будет искомым временем отпирания (.00307 *сек*).

Ординаты над горизонталью равны скорости свободного отката затвора относительно ствола вследствие отдачи затвора после отпирания.



Фиг. 70. Изменение скорости затвора под действием отдачи и определение времени отпирания затвора.

График показывает, что увеличение скорости свободного отката затвора за период времени между моментом отпирания и отметкой времени .005 *сек.* составляет 18.2 фут/сек (5,5 *м/сек*).

Хотя при расчете и не учтено тормозящее действие возвратной пружины затвора, полученная при этом ошибка незначительна и ею можно пренебречь. Данные, полученные при построении графика (фиг. 70), применяются для определения характера движения затвора до отметки времени .005 *сек.* Последовательность этого расчета будет приведена ниже.

3. Выбор характеристик пружин

Так как единственным назначением возвратных пружин ствола и затвора является возвращение этих деталей в крайнее переднее положение, величины усилий пружин не играют существенной роли в расчете. Поэтому характеристики пружин подбираются более или менее произвольно. Поскольку вес ствольного узла взят равным 45 фунтам (20,4 *кг*), для того чтобы возвратить эту массу в исходное положение перед очередным выстрелом, нужна сравнительно мощная пружина. Как будет показано ниже, усилие этой пружины не оказывает значительного влияния на отдачу подвижных частей и поэтому ее сопротивление может быть достаточно высоким.

Будем считать, что усилие предварительного поджатия этой пружины равно 250 фунтов (113 *кг*), а ее жесткость — 300 фунт/дюйм (53 *кг/см*). Пружина затвора должна быть слабой и поэтому не может оказать большого сопротивления его откату. Принимаем усилие предварительного поджатия этой пружины равным 25 фунтам (11,3 *кг*), а ее жесткость — 10 фунт/дюйм (1,77 *кг/см*). Такие характеристики пружины обеспечивают запирание затвора при всех условиях.

4. Графики скорости и пути затвора и ствола по времени до момента включения ускорителя

Ввиду сложности расчета системы автоматики с коротким откатом ствола нецелесообразно выводить аналитические выражения для времени отката и наката подвижных частей. Эти выводы были бы еще сложнее, если бы не было сделано допущение, что подвижные части получают начальную кинетическую энергию мгновенно, без учета действия давления пороховых газов по времени. В скорострельном оружии, основанном на принципе отдачи с коротким откатом ствола, время действия пороховых газов имеет очень большое значение и этому фактору следует уделить достаточное внимание при построении графиков движения затвора. Особенно важен подробный анализ начального периода, так как именно во время сгорания порохового заряда происходят процессы, определяющие эффективность системы, например, скорость и ускорение затвора. Поэтому очень желательно установить характеристики движения для начального периода отката подвижных частей.

Поскольку действие пороховых газов не может быть выражено при помощи простых уравнений, для определения параметров движения затвора применяется графический метод, позволяющий учесть действие пороховых газов. Такой метод состоит в предварительном построении графика скорости свободного отката по времени с последующим вычитанием из каждой ординаты этого графика потерь скорости, возникающих вследствие сопротивления пружин.

График изменения скорости свободного отката по времени для периода, заканчивающегося отпиранием затвора, уже был построен (см. фиг. 69). Для определения тормозящего действия пружин можно использовать закон, выражаемый уравнением

$$F \cdot dt = M \cdot dv \qquad (2.22)$$

Этот закон гласит, что изменение количества движения массы равно приложенному импульсу (произведению силы на время, в течение которого эта сила была приложена к данной массе). Решая это уравнение относительно dv, получаем

$$dv = \frac{F \cdot dt}{M}$$

Для того чтобы определить изменение скорости по времени, интегрируем это выражение:

$$v = \int_0^t \frac{F\,dt}{M} = \frac{1}{M}\int_0^t F\,dt. \qquad (2.23)$$

В соответствии с уравнением (2.23), тормозящее действие силы может быть установлено следующим образом:

1. Строится график изменения силы по времени.

2. Измеряется площадь под кривой в интервале времени от $t = 0$ до какого-то момента t_i.

3. Измеренная площадь делится на массу. Таким образом мы получаем ординату графика торможения скорости для времени t_i.

4. Повторяются действия, указанные в пунктах 2 и 3, для других значений t и строится график скорости торможения.

Применяя эту методику и используя известные величины массы откатных частей и суммарных усилий возвратных пружин затвора и ствола, мы получаем график, показывающий уменьшение скорости отдачи, вызванное сопротивлением пружин до момента отпирания. Разность между графиком скорости свободного отката и полученным графиком определяет действительную, или торможенную скорость отката.

Такой метод был бы очень прост, если бы сила торможения была постоянна или если бы изменение этой силы по времени было бы известно. Но в том случае, когда сила, как это характерно для пружин, изменяется, трудности расчета становятся значительными. Для построения графика, показывающего изменение силы сопротивления по времени, необходимо иметь график изменения пути отката по времени. Расчет может быть упрощен путем применения метода последовательного приближения. В период действия пороховых газов уменьшение скорости из-за сопротивления пружин сравнительно мало и его можно полностью отнести к потерям, возникающим вследствие предварительного поджатия пружин. Переменная сила, вызываемая жесткостью пружин, в этот период времени очень мала и ею можно пренебречь. Графики скорости и пути по времени до отпирания затвора определяются в такой последовательности:

1. Строят график скорости свободного отката по времени (фиг. 70).

2. Определяют уменьшение скорости вследствие предварительного поджатия пружин по формуле

$$\frac{(F_{o_1} + F_{o_2})\,t}{M_r}$$

Уменьшение скорости вычисляют для различных значений и затем вычитают из соответствующих ординат скорости свободного отката. В результате определяют скорость торможенного отката в первом приближении.

3. Интегрируя график скорости свободного отката по времени, получают график перемещений в первом приближении.

4. Допуская, что этот график является графиком пути по времени, используют его для определения замедления, вызываемого жесткостью пружин, причем берется суммарная жесткость пружин затвора и ствола $K_1 + K_2$). Обычно это замедление настолько мало, что влияние его практически ничтожно.

5. Если замедление, определенное в пункте 4, достаточно, чтобы повлиять на скорость, нужно использовать его для исправления графика (см. пункт 2) и затем путем интегрирования получить исправленный график перемещений.

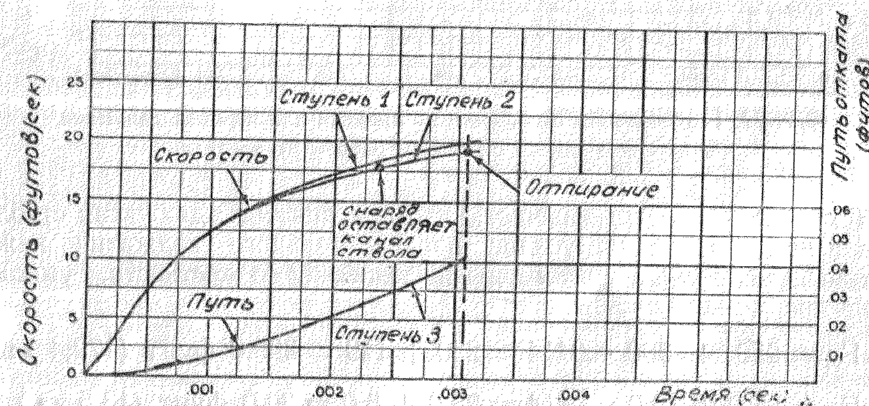
6. Действия, указанные в пунктах 4 и 5, повторяют до тех пор, пока не прекратятся существенные изменения в графике перемещений.

Практически процесс последовательного приближения дает удовлетворительные результаты уже при определении графика скорости и пути откатных частей во втором приближении.

На фиг. 71 приведены графики пути и скорости по времени для периода, предшествующего отпиранию затвора. Общее уменьшение скорости вследствие суммарного действия усилия предварительного поджатия обеих пружин в интервале времени от

$t = 0$ до $t = .00307$ *сек.* составляет

$$V = \frac{(F_{o_1} + F_{o_2})\,t}{M_r} = \frac{(250 + 25.0)\cdot .00307 \cdot 32.2}{50.0} = .543 \text{ фут/сек}$$



Фиг. 71. График пути и скорости по времени до отпирания затвора.

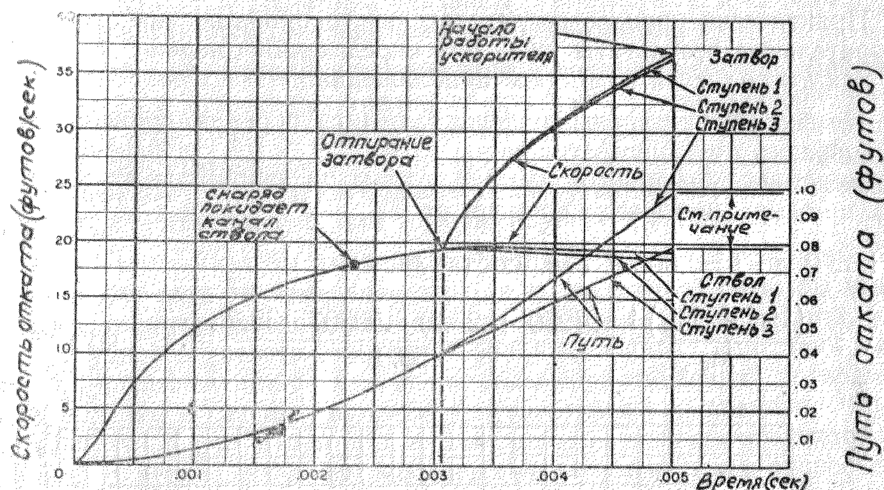
Уменьшение скорости из-за жесткости пружин, определенное по методу, изложенному в пункте 5, равно всего лишь .115 фут/сек.

Графики, изображенные на фиг. 71, являются результатом опе-

раций, проведенных в пункте 3. Поскольку уменьшение скорости из-за жесткости пружин невелико, второго приближения по пункту 5 не требуется.

После отпирания затвор и ствол движутся независимо друг от друга, и движение каждого из них тормозится соответствующей пружиной. При открытом затворе ствол не подвергается давлению пороховых газов и продолжает откатываться по инерции.

Этот момент отмечен на графике (фиг. 72), где скорость свободного отката ствола после отпирания затвора изображена прямой линией. Тормозящий эффект возвратных пружин затвора и ствола до начала работы ускорителя (.005 *сек.*) определяется таким же методом, как и до отпирания. Однако к моменту отпирания пружины уже сжаты на .0414



Фиг. 72. Графики пути и скорости по времени для периода движения между отпиранием и началом работы ускорителя.

фут (см. фиг. 71). Это означает, что при анализе движения ствола и затвора после отпирания, усилие предварительного поджатия каждой пружины должно быть увеличено на величину ее жесткости, умноженной на пройденный путь, т. е.

$$F_{o_1} = 250 + 300 \cdot .0414 = 250 + 149 = 399.0 \text{ фунт } (179{,}4 \text{ кг.})$$

$$F_{o_2} = 25.0 + 10.0 \cdot .0414 = 25.0 + 5.0 = 30.0 \text{ фунт } (13{,}5 \text{ кг.})$$

Скорость движения ствола с поправкой на предварительное поджатие возвратной пружины в период времени между отпиранием (.00307 *сек.*) и началом работы ускорителя (.005 *сек.*) уменьшается на

$$V = \frac{F_{o_1} t}{M_1} = \frac{399 \cdot (.005 - .00307) \cdot 32.2}{45} = .55 \text{ фут/сек. } (0{,}165 \text{ м/сек})$$

а скорость движения ствола, определенная по методу, приведенному в пункте 4, уменьшается всего лишь на .089 фут/сек (0,027 *м/сек*).

Кривые скорости движения ствола (см. фиг. 72), являются результатом расчетов по пунктам 2 и 3. (Поскольку уменьшение скорости из-за учета жесткости пружины незначительно, расчет по пункту 5 не проводился).

Имея результирующие кривые движения ствола для интервала времени между отпиранием и началом работы ускорителя, можно построить график скорости свободного отката затвора для этого же интервала. Эта часть графика скорости свободного отката затвора определяется по данным, приведенным на фиг. 70, путем прибавления к ординатам графика торможенной скорости отката ствола соответствующих ординат графика, представленного на фиг. 70. Ординаты замеряются от нулевой оси. Полученный график скорости свободного отката затвора показан на фиг. 72.

Тормозящий эффект возвратной пружины затвора определяется с помощью метода, примененного для пружины ствола. Скорость движения затвора с учетом исправленного усилия предварительного поджатия пружины затвора уменьшится на

$$V = \frac{F_{o_2} t}{M_2} = \frac{30.0 \cdot (.005 - .00307) \cdot 32.2}{5} = .373 \text{ фут/сек } (0{,}112 \text{ м/сек})$$

а скорость движения затвора, определенная по методу, приведенному в пункте 4, уменьшается всего на .053 фут/сек (0,015 *м/сек*).

Графики движения затвора (см. фиг. 72) являются результатом расчета по пунктам 2 и 3. (Поскольку уменьшение скорости, вызванное учетом жесткости пружины незначительно, расчет по пункту 5 не проводился).

Следует обратить внимание на то, что перемещение затвора относительно ствола в конце .005 *сек.* равно .25 дюйма. Графики торможенной скорости отката затвора и ствола показывают, что в момент начала работы ускорителя скорость затвора равна 36,7 фут/сек (11 *м/сек*), а скорость ствола 18,5 фут/сек (5,5 *м/сек*).

5. *Анализ движений в период работы ускорителя*

Первая фаза цикла автоматики продолжается 5 миллисекунд и заканчивается в тот момент, когда величина остаточного давления в канале ствола понижается до 750 фунт/дюйм² (52,7 *кг/см²*) и, следовательно, появляется возможность увеличить скорость затвора, не нарушая прочность гильзы.

Необходимо отметить, что в момент начала работы ускорителя остаточное давление пороховых газов в канале ствола еще не равно атмосферному, и поэтому скорость затвора увеличивается одновременно от воздействия ускорителя и остаточного давления газов, передаваемо-

Прежде всего нужно уточнить величину кинетической энергии, которую ствол может передать затвору. Поскольку ствол весит 45.0 фунтов и к началу работы ускорителя движется со скоростью 18.5 фут/сек (5.5 *м/сек*), кинетическая энергия, которой обладает масса ствола

$$E = \frac{1}{2} M V^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{45.0}{32.2} \cdot 18.5^2 = 239.0 \text{ фунт.фут } (31{,}4 \text{ кг.м})$$

Что касается усилия от остаточного давления пороховых газов, то, хотя оно и может быть сравнительно легко определено в любой промежуток времени по графику, приведенному на фиг. 65, работа этой силы пока остается неизвестной, так как перемещение затвора на участке работы ускорителя пока не определено. Следует лишь отметить, что расстояние, на которое может переместиться затвор за .003 *сек.*, в течение которых остаточное давление еще продолжает действовать, невелико и средняя сила воздействия остаточного давления относительно мала.

Все это говорит о том, что работа, совершаемая в этот период остаточным давлением пороховых газов, имеет относительно малое значение по сравнению с той энергией, которой располагает масса затвора. Грубый подсчет показывает, что работа пороховых газов в этом случае будет составлять примерно 10 — 15 фунт.фут. Поскольку такая работа очень мала, не будет большой ошибки, если мы примем общее количество энергии,которая используется для ускорения затвора, равной приблизительно 250 фунт.фут (34 *кгм*).

Посмотрим, каковы будут результаты, если вся эта энергия перейдет затвору без потерь (т. е. если коэффициент передачи будет равен единице). В момент начала работы ускорителя скорость затвора равна 36.7 фут/сек (11 *м/сек*). Поскольку затвор весит 5.0 фунт, его кинетическая энергия в этот момент

$$E = \frac{1}{2} M V^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{5.0}{32.20} \cdot 36.7^2 = 104.5 \text{ фунт.Фут } (14{,}2 \text{ кг.м})$$

Допустим, что вся кинетическая энергия ствола передана затвору. Тогда кинетическая энергия затвора после окончания работы ускорительного механизма

$$E = 104.5 + 250 = 354.5 \text{ фунт.фут } (48{,}2 \text{ кг.м})$$

Зная кинетическую энергию, можно найти скорость затвора по окончании работы ускорителя:

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot 354 \cdot 32.2}{5}} = 66.7 \text{ фут/сек } (20 \text{ м/сек})$$

Поскольку скорость затвора до включения ускорителя составляла 36.7 фут/сек, то, следовательно, применение ускорителя позволило увеличить скорость затвора в 1,815 раза. Однако нужно помнить, что это

увеличение является чисто теоретическим и основано на коэффициенте передачи энергии, равном единице. Можно считать, что скорость 66.7 фут/сек является пределом для данной системы (независимо от конструкции ускорительного механизма).

На практике, поскольку потери неизбежны, никогда не может быть стопроцентной передачи энергии. Кроме того, практически нецелесообразно допускать передачу всей энергии ствола через ускорительный механизм затвору. Малейшее нарушение движения ствола, неотдача ствола и даже уменьшение его скорости может нарушить работу ускорителя. Поэтому ствол всегда должен иметь какой-то запас энергии, остающийся неиспользованным после работы ускорителя. Неизбежны также потери на трение, удары, на экстракцию стреляной гильзы. Кроме того, часть энергии будет поглощена возвратными пружинами.

Без детально разработанного проекта определить все эти потери невозможно, и поэтому мы примем практически допустимые произвольные величины. Предположим, что скорость ствола по окончании работы ускорителя равна 6 фут/сек (1,8 *м/сек*), а возможные потери энергии в механизме составляют 50 фунт.фут (6,8 *кгм*), из которых 6.0 фунт.фут поглощаются трением и 44 фунт.фут аккумулируются пружинами ствола и затвора.

Следовательно, кинетическая энергия ствола по окончании работы ускорительного механизма

$$E = \frac{1}{2} M V^2 = \frac{1}{2} \frac{45}{32.2} 6^2 = 25.1 \text{ фунт.фут } (3{,}38 \text{ кгм})$$

Вычитая эту величину и величину энергии возможных потерь в механизме из общего количества энергии, мы получим кинетическую энергию, переданную затвору. Она равна 175 фунт.фут. Складывая эту величину с величиной начальной кинетической энергии затвора (104.5 фунт.фут), получаем величину кинетической энергии затвора по окончании работы ускорителя, равную 280 фунт.фут. При этом скорость затвора

$$V = \sqrt{\frac{2E}{M}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 280 \cdot 32.2}{5}} = 60 \text{ фут/сек } (18 \text{ м/сек})$$

Следовательно, скорость затвора увеличивалась в 1,63 раза.

Коэффициент передачи энергии будет равен

$$(175 : 250) \cdot 100 = 70\%$$

Такой коэффициент может быть получен в реальных системах.

Итак, мы установили тот факт, что ускоритель может повысить скорость затвора с 36.7 до 60 фут/сек и одновременно понизить скорость ствола с 18.5 до 6.0 фут/сек. Нам осталось, следовательно, выбрать ускоритель, который обеспечил бы такие изменения скорости и позволил

бы передавать энергию без сильных ударов и при допустимых величинах ускорений.

Характеристики движения затвора и ствола во время работы ускорителя зависят прежде всего от конструкции последнего. Рассмотрим ускоритель рычажного типа. Одним из основных факторов, определяющих конструкцию ускорителя, является время, в течение которого ускоритель может обеспечить передачу энергии. Для того чтобы получить высокий темп стрельбы, нужно применить ускоритель с минимальным временем работы. Это обеспечит быстрое увеличение скорости затвора, сократит цикл автоматики и, кроме того, позволит быстрее снизить скорость ствола, т. е. уменьшить величину его отката, что особенно важно, так как дает возможность уменьшить величину отката затвора.

С другой стороны, быстрая передача кинетической энергии требует больших ускорений затвора и вызывает быстрое торможение ствола. И то и другое приводит к значительным инерционным нагрузкам на механизм ускорителя. Увеличение времени работы ускорителя снижает нагрузки на его детали, но одновременно снижает и темп стрельбы.

Из всего сказанного можно сделать вывод, что время работы ускорителя должно быть таким, чтобы не могло возникнуть чрезмерных инерционных нагрузок, а темп стрельбы уменьшился незначительно. Для разбираемого примера время работы ускорителя можно принять равным .004 *сек.*

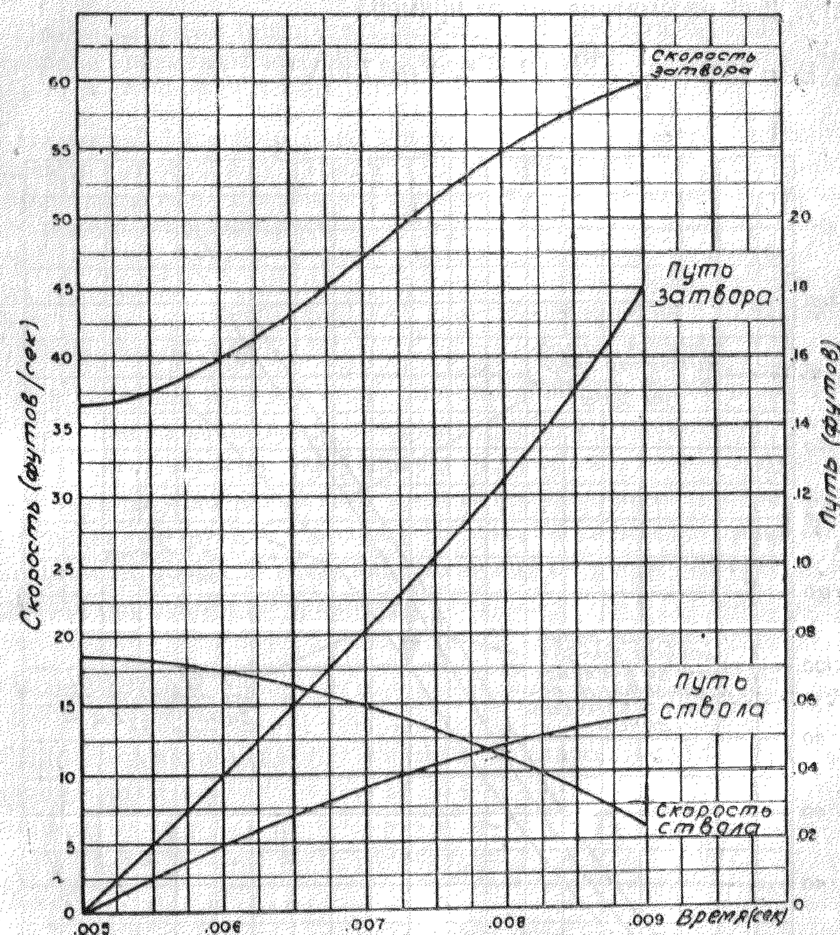
Теперь нам нужно наметить характеристики движения, наиболее приемлемые для этого периода. Для того чтобы энергия передавалась по возможности без ударов, следует расположить детали механизма так, чтобы действующие на них усилия, начинаясь с нуля, возрастали бы до максимума постепенно и при этом обеспечивали бы быстрое ускорение затвора и быстрое замедление движения ствола. Плавное изменение усилий обеспечивает плавное изменение скорости и ускорения.

Кинетическая энергия откатывающихся назад ствола и затвора остается более или менее постоянной, так как лишь незначительная часть ее поглощается пружинами в период работы ускорительного механизма, а некоторое увеличение энергии затвора за счет отдачи последнего компенсируется потерями от трения и случайных ударов. Поэтому характеристики движения затвора и ствола зависят главным образом от конструктивных особенностей механизма ускорителя. Поскольку ускоритель может быть спроектирован на основании заранее заданных величин относительных перемещений затвора и ствола, закономерность этих перемещений очевидна. Иными словами, проектирование ускорительного механизма начинается с определения закона изменения скорости движения ствола. Соответствующие изменения скорости движения затвора должны быть определены с учетом кинетической энергии, передаваемой затвору стволом и получаемой затвором за счет отдачи. При этом необходимо учитывать потери, неизбежные в механизме ускорителя. Зная изменения скорости затвора и ствола, легко спроектировать такой ускорительный

механизм, который обеспечил бы получение заданных характеристик ускорителя.

Проектировать ускорительный механизм нужно следующим образом:

1. Построить график изменения скорости движения ствола, выбрав при этом наиболее выгодный закон изменения скорости для периода работы ускорительного механизма. Этот график должен быть подобен гра-



Фиг. 73. Влияние ускорителя на перемещение и скорость ствола и затвора.

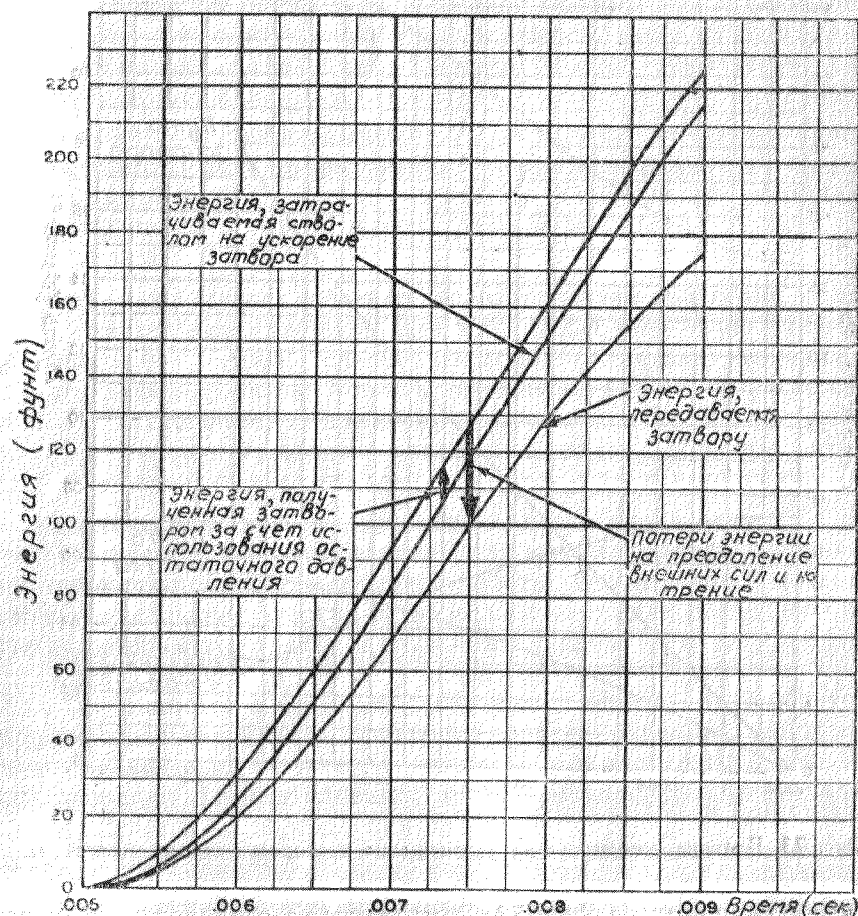
фику, изображенному на фиг. 73. Замедление, а следовательно, и изменение сил, вызывающих замедление, должно начинаться с 0 и плавно нарастать до максимума в конце периода работы ускорителя.

2. Определить по графику изменения скорости движения ствола уменьшение кинетической энергии ствола для каждого момента времени по зависимости

$$\triangle E = E_0 - \frac{1}{2} M V^2$$

Смысл этого равенства заключается в том, что изменение кинетической энергии к известному моменту равно начальной кинетической энергии за вычетом кинетической энергии, соответствующей данному моменту. Для рассматриваемого примера

$$\triangle E = 239 - \frac{1}{2} \frac{45}{32.2} V^2 = 239 - .700 V^2$$



Фиг. 74. Перемещение затвора в процессе работы ускорителя и изменение в энергетическом балансе системы.

На фиг. 74 приведены графики, полученные с использованием равенства для определения уменьшения кинетической энергии ствола. Кривая изменения $\triangle E$ еще не представляет энергии, передаваемой затвору, так как для этого необходимо учесть влияние на скорость затвора отдачи и внешние потери. Однако ни то, ни другое пока еще не может быть определено нами, так как неизвестен характер движения затвора. Но поскольку величины влияния отдачи и внешних потерь малы, их можно оценить приблизительно, не нарушая точности расчета в целом. При реальном проектировании такую оценку можно рассматривать как первое приближение.

Опытным путем было установлено, что вследствие отдачи затвора в интервале времени $t =$ .005 — .008 *сек.* затвору сообщается энергия, равная 11 фунт. фут (1,5 *кгм*).

На фиг. 74 показано, как эта энергия добавляется к энергии, передаваемой от ствола к затвору. Внешние потери энергии, равные 50 фунт.фут, являются следствием сопротивления возвратных пружин и трения в механизме ускорителя. Эти потери следует вычесть из общей энергии системы. Имея в виду упрощение расчета, допустим, что эти потери происходят равномерно на всем участке работы ускорителя. Нижняя кривая графика (фиг. 74) дает представление о величине энергии, переданной затвору.

Эта величина используется для определения скорости затвора (см. фиг. 73). Скорость затвора в начале работы ускорителя равна 36.7 фут/сек, а его энергия, как следует из расчета, — 104.5 фунт.фут. В период работы ускорителя энергия затвора увеличивается за счет энергии, переданной затвору стволом. На фиг. 74 приведен график изменения энергии затвора по времени. Величину скорости во время работы ускорителя определим из уравнения

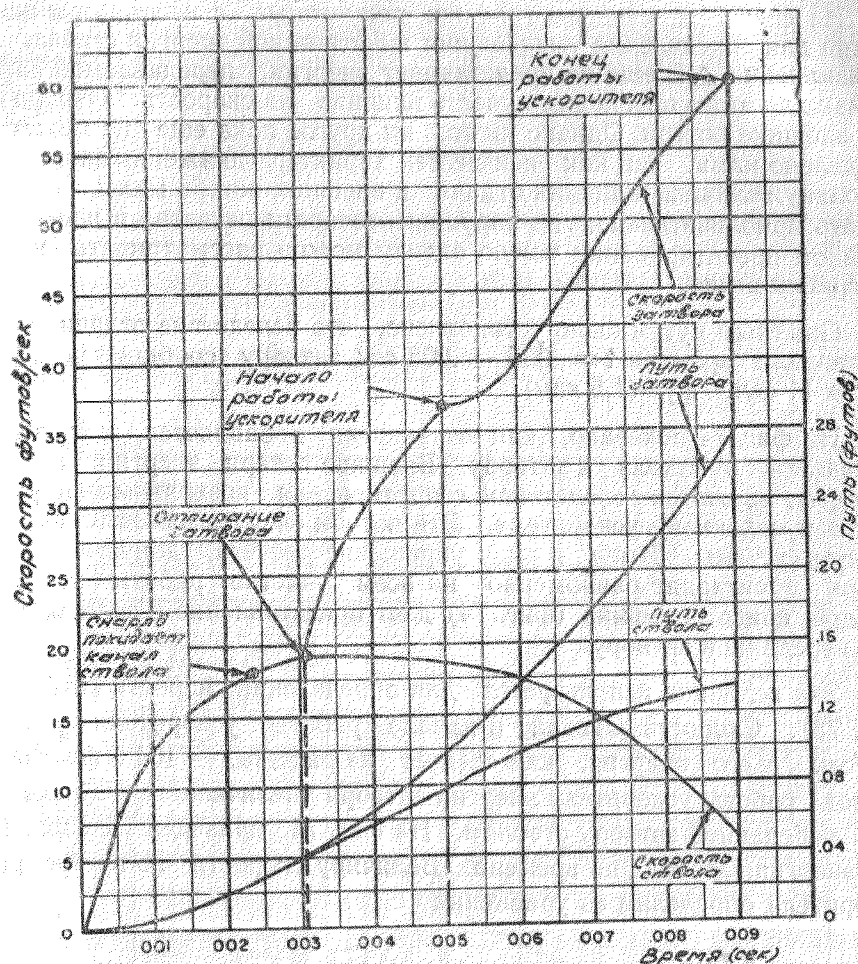
$$V = \sqrt{\frac{2gE}{W}}$$

Для рассматриваемого примера W равно 5 фунт. (2,27 *кг*), и, следовательно,

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot 32.2 \cdot E}{5}} = \sqrt{12.88 E} \text{ фут/сек}$$

Проинтегрируем графики (см. фиг. 74) скорости для получения графиков перемещения затвора и ствола в период ускорения затвора. Значения перемещений, получаемые из графиков, с целью продолжить кривые пути по времени до отметки времени .009 *сек*, прибавляются к перемещениям затвора и ствола до включения ускорителя.

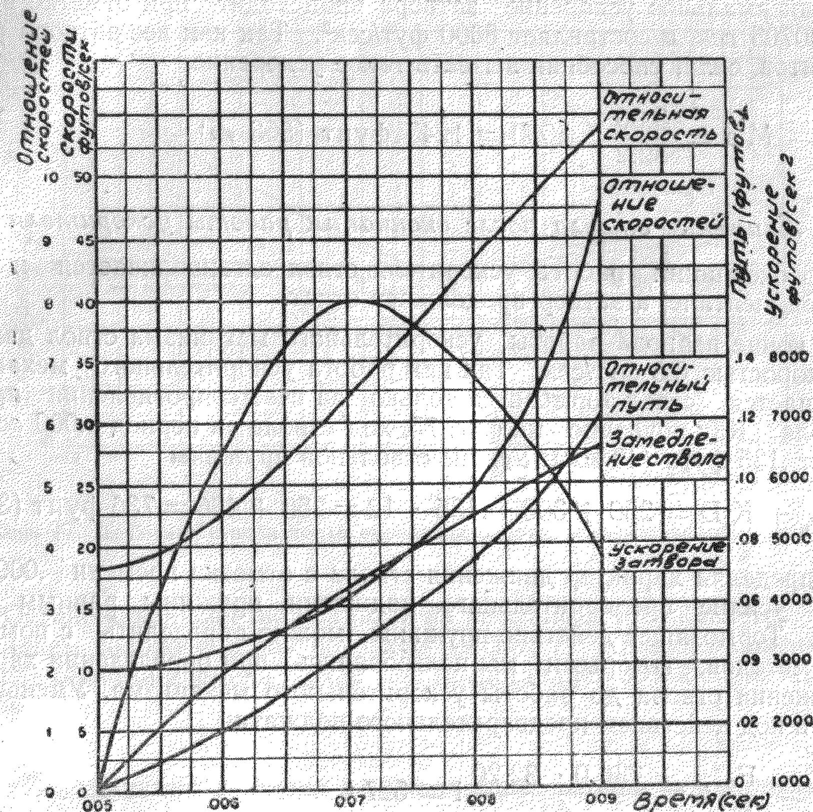
На фиг. 75 показаны полные графики пути и скорости по времени.



Фиг. 75. График пути и скорости по времени до конца периода ускорения.

Все данные, необходимые для проектирования рычага ускорителя, можно найти на фиг. 75 или установить непосредственно из графиков. На фиг. 76 приведены характеристики ускорителя, используемые при проектировании его сечения и профиля. Кривые ускорений ствола и затвора можно построить путем дифференцирования кривых скорости.

На основании данных фиг. 75 и 76, можно легко установить профиль рычага ускорителя, используя для этого обычные методы построения профиля кулачка. При конструировании рычага следует учесть, что отношение плеч в любой момент должно быть равно отношению скоростей. Кроме того, для уменьшения износа рабочих поверхностей, их сле-



Фиг. 76. Характеристики рычажного ускорителя.

дует проектировать, из расчета на обкатывающее, а не скользящее действие.

Способ определения профиля рычага ускорителя в настоящей работе не рассматривается. Общий характер изменения профиля рычага ускорителя конкретной конструкции показан на фиг. 63. Однако следует учесть, что форма ускорителя для другой системы, зависящая от заданных характеристик движения затвора и ствола и от расположения ускорительного механизма может быть совершенно иной.

Следует определить величины сил, действующих на затвор и ствол в период работы ускорителя. На фиг. 76 показано, что максимальное замедление массы ствола при отметке времени .009 *сек.* равно 5600 фут/сек². Поскольку вес ствола равен 45.0 фунтам, сила, способная вызвать такое замедление,

$$F = Ma = \frac{45.0}{32.2} \cdot 5600 = 7820 \text{ фунт } (3520 \text{ кг})$$

Максимальное ускорение затвора происходит при отметке времени в .00705 *сек.* и составляет 8000 фут/сек². Так как вес затвора равен 5.00 фунтов, сила, способная вызвать такое ускорение,

$$F = M a = \frac{5.00}{32.2} \cdot 8000 = 1245 \text{ фунт } (553 \textit{ кг})$$

6. Движение ствола после окончания работы ускорителя

По окончании работы ускорителя ствол останавливается и удерживается шептале, а затвор продолжает откат.

В конце периода работы ускорительного механизма ствол движется со скоростью 6.0 фут/сек. Так как работа ускорительного механизма прекращается, ствол тормозится только за счет сопротивления пружины ствола. Как показано на фиг. 75, ход ствола за период .009 *сек.* составляет .135 фута (40 *мм*). Усилие ствольной пружины

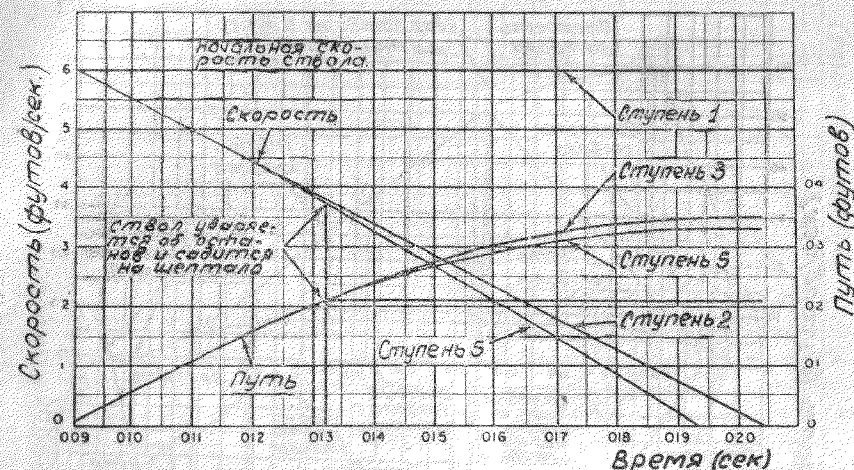
$$F_{o_1} + K_1 D = 250 + 300 \cdot .135 \cdot 12 = 250 + 486 = 736 \text{ фунт } (325 \textit{ кг})$$

Определяя характер движения ствола с отметки времени .009 *сек.*, примем усилие предварительного поджатия пружины равным 736.0 фунтов. Тормозящее действие пружины можно определить с помощью тех же методов, которыми мы пользовались при определении характера движения ствола до работы ускорительного механизма. Уменьшение скорости под действием предварительного поджатия

$$V = \frac{F_o}{M} t = \frac{736.0 \cdot 32.20}{45} t = 527 t$$

Иными словами, усилие предварительного поджатия уменьшает скорость ствола с замедлением, равным 527 фут/сек². Это замедление скорости показано на фиг. 77 и обозначено цифрой 2. Уменьшение скорости из-за учета жесткости пружины определяется так, как указано в пункте 4. График скорости ствола, полученный во втором приближении, отмечен цифрой 5. Поскольку изменения, вносимые расчетом, при дальнейшем приближении незначительны, можно считать, что график с индексом 5 будет окончательным.

Графики показывают, что если движение ствола после окончания работы ускорительного механизма тормозится только пружиной, то ствол может пройти по инерции дополнительно еще .033 фута (10 *мм*) и остановиться к моменту .0193 *сек.* Но поскольку желательно, чтобы ствол останавливался немедленно по окончании работы ускорителя, в конструкцию оружия вводят останов, ограничивающий движение ствола после окончания работы ускорителя 6 *мм*. При этом, как показано на фиг. 77, движение ствола заканчивается к моменту .0132 *сек.*, его скорость равна всего 3.7 фут/сек (1,1 *м/сек.*), а кинетическая энергия — 9.55 фунт.фут (1,3 *кгм*). Удар при остановке ствола незначителен.



Фиг. 77. Движение ствола после окончания работы ускорительного механизма.

Остановившийся ствол садится на шептало и удерживается в крайнем заднем положении, как показано на фиг. 77. Кривая движения ствола после отметки времени .0132 *сек.* представляет собой горизонтальную линию.

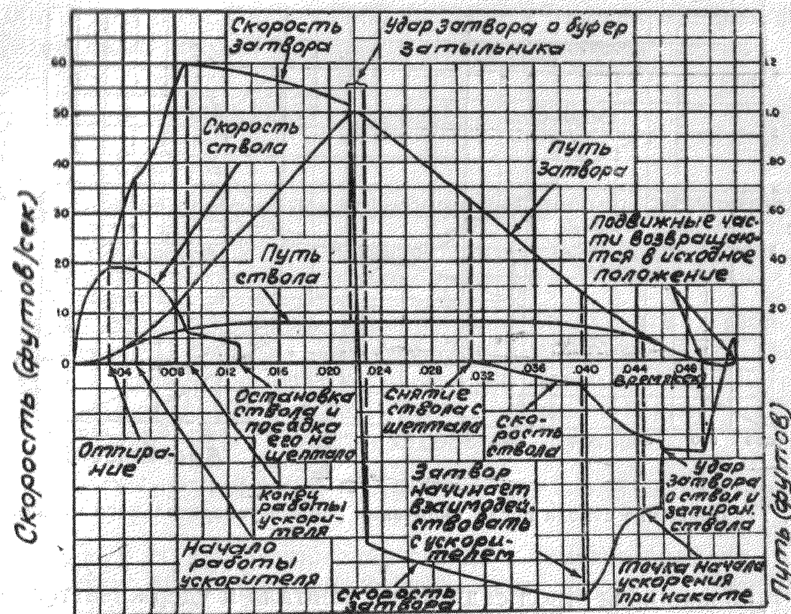
7. Движение затвора по окончании работы ускорителя

В конце работы ускорителя затвор движется со скоростью 60 фут/сек (18 *м/сек*) и его откат тормозится только возвратной пружиной. Как показано на фиг. 78, ствол садится на шептало, пройдя .156 фута (47,5 *мм*).

Для обеспечения подачи очередного патрона расстояние между стволом и затвором должно составлять 10 дюймов (254 *мм*). Тогда общий путь затвора до удара о буфер затыльника должен быть равен .993 фута (302 *мм*). На фиг. 75 показано, что путь затвора в конце работы ускорителя равен .28 фута (84 *мм*), и, следовательно, до удара о буфер затвор должен пройти еще .713 фута (218 *мм*).

Движение затвора после работы ускорителя может быть определено таким же методом, как и движение ствола (фиг. 79). Прежде всего на графике следует нанести горизонтальную линию максимальной скорости отката затвора. К концу периода работы ускорителя путь, пройденный затвором, равен .28 фута и, следовательно, усилие возвратной пружины затвора

$$F_{o_2} + K_2 D = 25.0 + .28 \cdot 10 \cdot 12 = 58.6 \text{ фунт } (26,1 \textit{ кг})$$

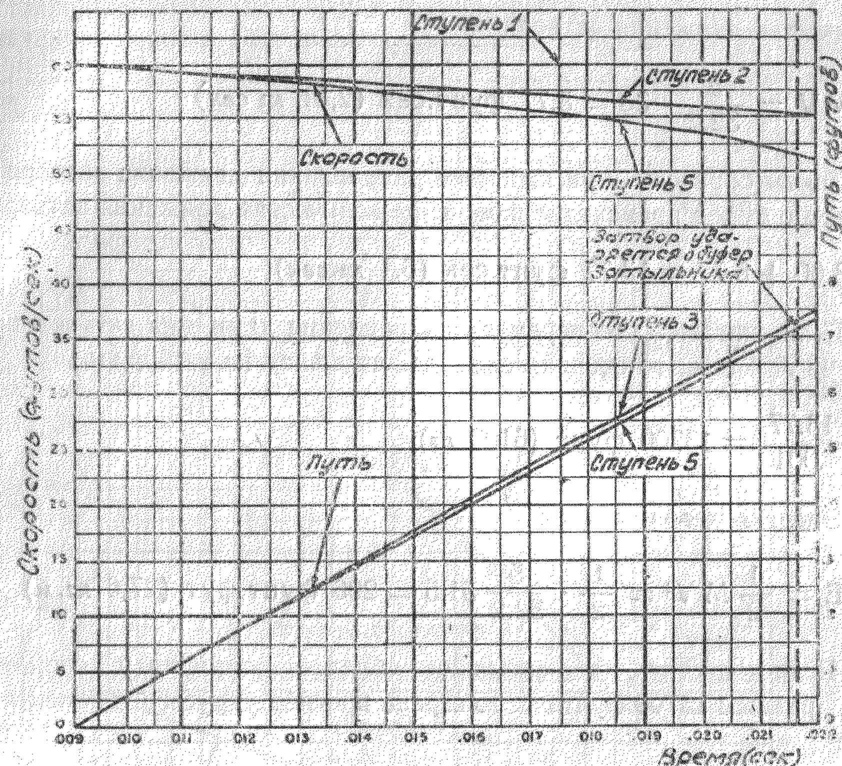


Фиг. 78. График пути и скорости для полного цикла автоматики

Принимая усилие предварительного поджатия пружины по окончании работы ускорителя равным этой величине, определим уменьшение скорости из-за сопротивления пружины:

$$V = \frac{F_0}{M} t = \frac{58.6 \cdot 32.2}{5} t = 378\,t$$

Уменьшение скорости отмечено на фиг. 79 индексом 2. Уменьшение скорости вследствие учета жесткости пружины определяется, как указано в пункте 4. Кривая скорости ствола, полученная во втором приближении, отмечена индексом 5. Поскольку дальнейшее уточнение (по пункту 6) не вносит существенных изменений в расчет, считаем, что кривая с индексом 5 является результирующей и характеризует влияние пружины на движение затвора. Кривые показывают, что затвор дополнительно проходит .713 фута за время .0216 *сек*. В конце отката затвор со скоростью 51.5 фут/сек (15,5 *м/сек*) ударяется о буфер затыльника. График движения затвора после срабатывания ускорителя приведен на фиг. 78.



Фиг. 79. Движение затвора после срабатывания ускорителя.

8. Действие буфера затвора

Буфер затвора изменяет направление движения затвора после его отката. При ударе о буфер затвор должен терять как можно меньше времени и энергии. Выше отмечалось, что перемена направления движения затвора при ударе о буфер совершается почти мгновенно. Однако этот удар сопровождается некоторой потерей энергии, вследствие чего скорость наката затвора несколько меньше скорости его отката. Уменьшение скорости достигает 30%. Скорость затвора перед ударом о буфер равна 51.5 фут/сек, а количество движения затвора в момент удара

$$MV = \frac{5}{32.2} \cdot 51.5 = 8.00 \text{ фунт.сек } (3{,}6 \text{ кг.сек})$$

Если считать коэффициент восстановления буфера затыльника равным .70, то скорость затвора после удара

$$V = .7 \cdot 51{,}5 = 36.0 \text{ фут/сек } (10{,}9 \text{ м/сек.})$$

и количество движения затвора

$$MV = \frac{5}{32.2} \cdot 36 = 5.77 \text{ фунт.сек } (2{,}51 \text{ кг.сек})$$

Таким образом, при перемене направления движения затвора после удара о буфер происходит изменение количества движения затвора:

$$8.00 + 5.77 = 13.77 \text{ фунт.сек } (6{,}1 \text{ кг.сек})$$

Если считать, что перемена направления движения затвора происходит за .001 *сек.*, то средняя сила, действующая на затыльник,

$$\frac{13.77}{.001} = 13700 \text{ фунт } (6100 \text{ кг})$$

Энергия удара затвора

$$E = \frac{1}{2} M V^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{5}{32.2} 51.5 = 206 \text{ фунт.фут } (27{,}6 \text{ кг.м})$$

Если допустить, что затыльник обладает постоянным сопротивлением, равным 13700 фунтов, то стрела прогиба упругого элемента при ударе

$$\frac{206}{13700} = .015 \text{ фут } (4{,}5 \text{ мм})$$

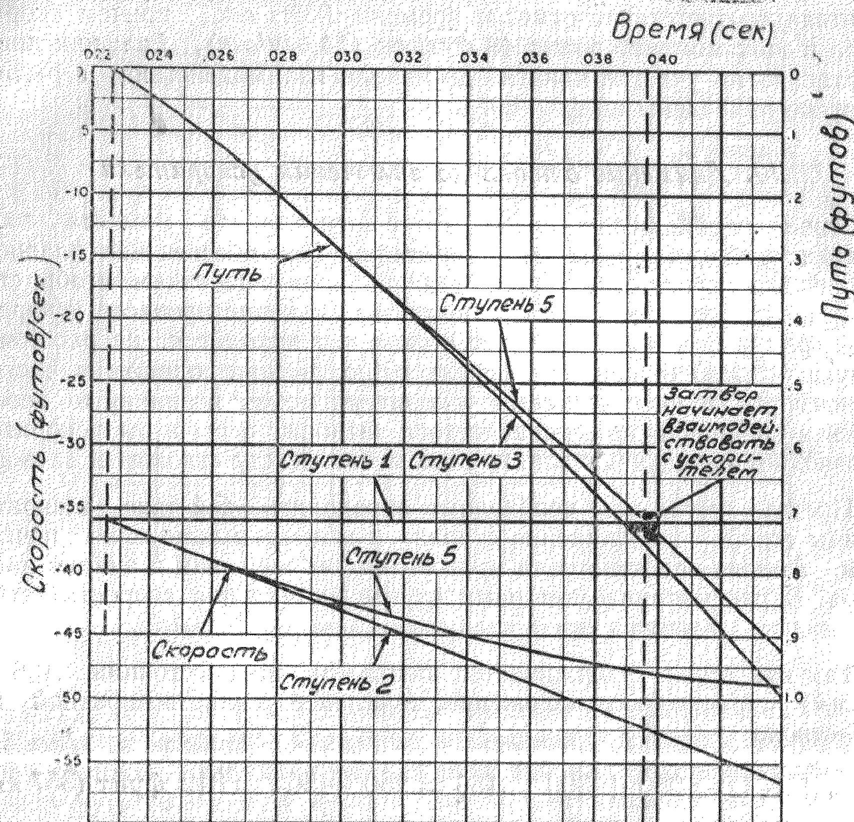
9. *Движение затвора после удара о буфер*

Затвор отходит от затыльника со скоростью 36 фут/сек (11 м/сек), причем его движению способствует возвратная пружина. На расстоянии .28 фута (84 *мм*) от крайнего переднего положения на затвор начинает действовать ускоритель. Движение затвора под действием возвратной пружины может быть определено с помощью метода, применявшегося при анализе работы пружин. На график (фиг. 80) наносится горизонтальная линия, соответствующая начальной скорости наката затвора. Последовательность операций несколько изменяется, так как действие пружины увеличивает, а не уменьшает скорость затвора. В начале наката затвора его возвратная пружина поджата на 1.008 фута (302 *мм*). Поэтому усилие предварительного поджатия пружины

$$F_0 + KD = 25 + 10 \cdot 12 \cdot 1.008 = 146 \text{ фунт } (65 \text{ кг.})$$

Увеличение скорости затвора под действием этой силы

$$V = \frac{F}{M} t = \frac{146 \cdot 32.2}{5} t = 940\, t$$



Фиг. 80. Накат затвора под действием возвратной пружины до начала взаимодействия с ускорителем.

Это увеличение показано на фиг. 80 (кривая с индексом 2). Кривая с индексом 3 показывает изменение пути затвора в результате увеличения его скорости. Поскольку затвор накатывается, жесткость пружины уменьшает действующую на него силу. Поэтому величину изменения скорости, определяемую как указано в пункте 4, нужно вычесть из ординат графика скорости с индексом 2. Уточненный график получает индекс 5. Поскольку полученное при этом изменение в графике пути очень мало, нет необходимости выполнять расчет по пункту 6 и графики,

обозначенные индексом 5, характеризуют влияние возвратной пружины затвора на движение затвора*.

Путь затвора до удара о рычаг равен .713 фут (218 *мм*). На фиг. 80 показано, что момент начала взаимодействия затвора с рычагом ускорителя соответствует отметке времени .0396 *сек.*, причем скорость затвора в этот момент равна 48 фут/сек (14,4 *м/сек*). Графики движения затвора на участке наката до начала взаимодействия с рычагом ускорителя приведены на фиг. 80.

10. Движение ствола до включения ускорителя

Ствол необходимо освободить с шептала до момента соприкосновения затвора с рычагом ускорителя. Для обеспечения плавности работы время снятия ствола с шептала должно быть таким, чтобы ствол успел прийти в положение, занимаемое им в конце процесса ускорения затвора, раньше, чем затвор (это положение находится на расстоянии .135 фута (40 *мм*) от крайнего переднего положения подвижных частей). В зависимости от формы рычага ускорителя может возникнуть необходимость в сцеплении накатывающегося затвора с рычагом ускорителя, что позволяет последнему занять свое место между стволом и затвором.

Прежде всего нам необходимо определить действие возвратной пружины ствола на движение ствола и момент выключения шептала ствола. Анализ наката ствола проводится так же, как и анализ наката затвора. В рассматриваемом нами случае начальная скорость ствола равна нулю.

Так как ствол удерживается шепталом на расстоянии .156 фут (46,7 *мм*) от исходного положения, начальное усилие возвратной пружины ствола

$$F_0 + K D = 250 + 300 \cdot .156 = 250 + 562 = 812 \text{ фунт } (357 \text{ кг})$$

Тогда увеличение скорости, соответствующее этому усилию,

$$V = \frac{F_0}{M} t = \frac{812 \cdot 32.2}{45} t = 580 t$$

---

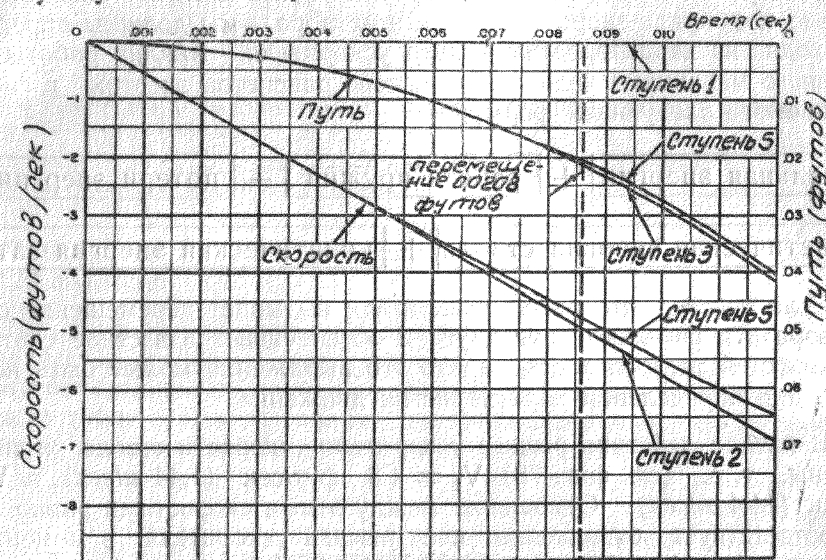
*Действенность этого метода может быть установлена из уравнения, выражающего изменение скорости затвора при воздействии на него возвратной пружины:

$$V = \int_0^t \frac{F \cdot dt}{M} = \int_0^t \frac{F_0 + K(D - d)}{M} dt$$

где D — полная величина поджатия пружины в начале движения затвора вперед;
d — перемещение затвора вперед из своего крайнего заднего положения.

$$V = \frac{F_0 + KD}{M} t - \frac{K}{M} \int_0^t (d)\, dt$$

Это увеличение показано на фиг. 81 (кривая с индексом 2). Перемещение ствола, соответствующее данной скорости, обозначено индексом 3. Расчет по пункту 4 производится так же, как и расчет возвратной пружины затвора. Окончательный вид кривых обозначен индексом 5. Ввиду того, что перемещение ствола незначительно, выполнять расчет по пункту 6 нецелесообразно.



Фиг. 81. Движение ствола после снятия с шептала.

Поскольку ствол, удерживаемый шепталом на расстоянии .156 фута (46,7 *мм*) от крайнего переднего положения, должен переместиться вперед до точки, отстоящей на .135 фута (40 *мм*), это перемещение равно .0208 фута (6,3 *мм*). Графики (фиг. 81) показывают, что ствол перемещается на требуемое расстояние через .0086 *сек.* поле выключения шептала. Как уже указывалось, ствол должен дойти до точки, отстоящей на .135 фута от его исходного положения при выстреле, пока затвор не достиг своего исходного положения. В связи с тем, что это расстояние (.28 фута), затвор проходит за .0396 *сек.*, снятие затвора с шептала должно произойти с упреждением в .0086 *сек.*, или в момент времени .0310 *сек.* от начала цикла. Данные, приведенные на фиг. 81, необходимы для построения кривой движения наката ствола до отметки времени .0396 *сек.*

11. Накат ствола и затвора во время работы рычага ускорителя

При накате ствола и затвора работа рычага ускорителя заключается в передаче кинетической энергии от затвора к стволу, что посте-

пенно снижает скорость затвора и увеличивает скорость ствола, устраняя опасность сильного и резкого удара затвора о пенек ствола.

Анализ движения ствола и затвора во время работы ускорительного механизма при накате сложнее, чем при откате. Это вызвано тем, что рычаг ускорителя уже спроектирован и, не имея возможности произвольно подбирать скорости ствола и затвора, мы должны определить их, исходя из характеристик рычага ускорителя. Анализ работы ускорительного механизма ведется на основе равенства энергии в системе, выражаемого следующей формулой:

| начальная энергия | + | работа пружин | − | потери энергии | =

= | кинетическая энергия ствола | + | кинетическая энергия затвора |

Если учесть, что рычаг ускорителя вызывает перемещение ствола и затвора относительно друг друга и обеспечивает известное соотношение скоростей затвора и ствола, то это выражение может быть использовано для определения характеристик движения.

В начале действия рычага ускорителя скорости ствола и затвора известны, т. е. (см. фиг. 78) $V_1 = 4.8$ фут/сек (1,44 *м/сек*), а $V_2 = 48$ фут/сек (14,4 *м/сек*). Отношение между этими скоростями равно 10 :1, что соответствует отношению плеч рычага ускорителя в момент его включения (см. фиг. 76). Такое условие весьма желательно, так как означает, что включение рычага начинается без сильного удара. При данных скоростях начальные величины энергии ствола и затвора будут следующими:

для ствола $E = \frac{1}{2} M V^2 = \frac{45}{2 \cdot 32.2} 4.8^2 = 16.1$ фунт.фут (2,16 *кгм*)

для затвора $E = \frac{1}{2} M V^2 = \frac{5}{2 \cdot 32.2} 48^2 = 178.9$ фунт.фут (24 *кгм*)

Следовательно, общая начальная энергия будет равна

$16.1 + 178.9 = 195$ фунт.фут (26,2 *кгм*)

Энергия, получаемая от действия пружин, не может быть выражена в функции времени, так как зависимость между перемещением и временем еще не установлена. Однако энергию, отдаваемую пружинами, можно выразить в функции пути, пройденном с момента начала действия ускорителя. Так, при перемещении тела на величину D_1 энергия, отдаваемая пружиной, равна среднему усилию пружины, умноженному на величину перемещения.

Таким образом,

$$E = \frac{(F_0 + K D_1) + (F_0 + K D_2)}{2} (D_1 - D_2)$$

$$E = \frac{2 F_0 + K (D_1 + D_2)}{2} (D_1 - D_2) \qquad (2.24)$$

Во время работы ускорителя затвор перемещается из точки, отстоящей на .28 фута (84 *мм*) от его крайнего переднего положения, в точку, отстоящую на .105 фута (31,5 *мм*) от этого положения. Ствол соответственно перемещается на расстояние от .135 фута (40,5 *мм*) до .08 фута (24 *мм*) (см. фиг. 75). Для ствола $F_0 = 250$ фунт (113 *кг*), $K = 3600$ фунт/фут (53 *кг/см*), для затвора $F_0 = 25$ фунт = (11,3 *кг*), $K = 120$ фунт/фут (1,77 *кг/см*).

Путь затвора на участке работы ускорителя можно разбить на любое количество этапов. Соответствующие приращения пути ствола могут быть определены по кривой на фиг. 75, а полученные результаты — сведены в табл. 1. В этой таблице дается соотношение между скоростями затвора и ствола, необходимое при дальнейшем анализе.

Таблица 1

Приращение пути и соотношение скоростей

	Путь затвора, фут	Путь ствола, фут	Соотношение скоростей R
1	.280	.135	10.00
2	.245	.132	6.22
3	.210	.124	4.30
4	.175	.112	2.90
5	.140	.100	2.35
6	.105	.080	2.00

По этой таблице определяется энергия, передаваемая при перемещении каждой пружиной. Например, при перемещении затвора из положения 1 в положение 2 его пружина передает следующее количество энергии:

$$E = \frac{2 \cdot 25 + 120\,(.28 + .245)}{2} (.280 - .245) = 1.98 \text{ фунт.фут}$$

Энергия, передаваемая пружиной ствола на том же участке движения затвора,

$$E = \frac{2 \cdot 250 + 3600 \cdot (.135 + .132)}{2} (.135 - .132) = 2.19 \text{ фунт.фут}$$

Подобные операции повторяются и для других участков приращения пути.

В соответствии с допущением, сделанным при анализе отката, что общие потери за период работы ускорителя равны 6 фунт.фут, принимаем эту же величину и для периода работы ускорителя при накате. Поскольку эта величина мала, для упрощения расчета предположим, что на каждом из участков, принятых в расчете, потери составляют 1.2 фунт.фут.

После того, как все величины энергии определены, остается найти скорости затвора и ствола на выбранных участках перемещения.

Энергия подвижных частей на участке работы ускорителя при накате выражается формулой

$$E = \frac{1}{2} M_1 V_1^2 + \frac{1}{2} M_2 V_2^2$$

Но так как $V_2 = RV_1$, где R — соотношение скоростей (см. фиг. 76),

$$E = \frac{1}{2} M_1 V_1^2 + \frac{1}{2} M_2 (R V_1)^2$$

$$E = \frac{1}{2} (M_1 + M_2 R^2) V_1^2$$

Решая это уравнение относительно V_1, получаем

$$V_1^2 = \frac{2}{M_1 + M_2 R^2} E$$

| Общая энергия ствола и затвора E | = | начальной энергии E_0 | + |

+ | энергия, переданная пружинами $\triangle E_{пруж.}$ | −

− | энергия потерь $\triangle E_{потерь}$ |

Таким образом,

$$V_1 = \sqrt{\frac{2}{M_1 + M_2 R^2} (E_0 + \triangle E_{пруж} - \triangle E_{потерь})}$$

Порядок расчета может быть показан на примере. Используя значения, приведенные в табл. 1, имеем

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot 32.2}{45 + 5 \cdot 6.22^2} (195 + 1.98 + 2.19 - 1.2)}$$

$$V_1 = \sqrt{53.5} = 7.32 \text{ фут/сек } (2{,}25 \ м/сек)$$

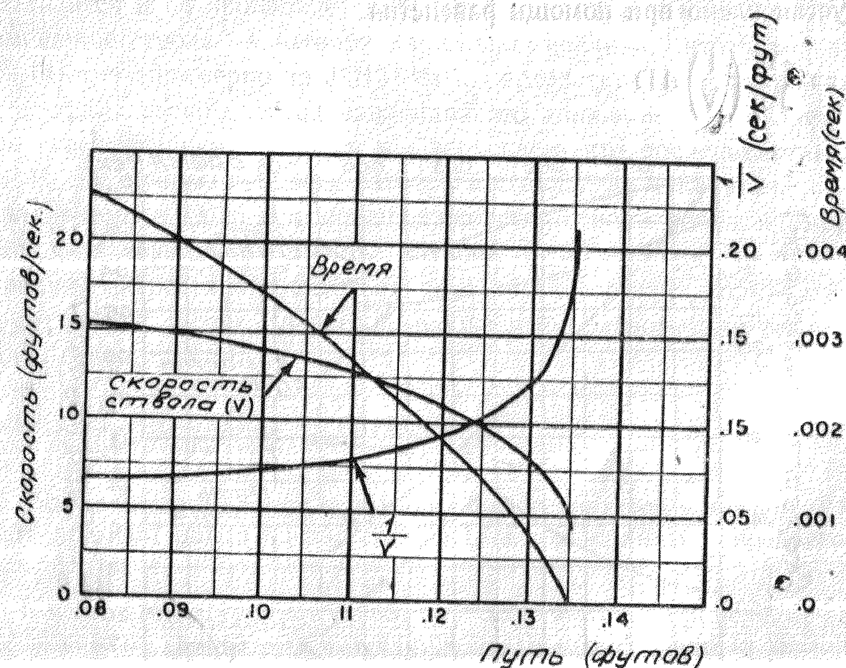
но $V_2 = R V_1 = 6.22 \cdot 7.32 = 45.5$ фут/сек (13,9 м/сек)

Расчет может быть повторен и для других значений пути, приведенных в табл. 1. В каждом случае берутся соответствующие отношения скоростей, значения энергии, получаемой от пружин, и величины потерь. Величины скоростей ствола и затвора наносятся на график по соответствующим значениям пути (фиг. 82 и 83). Независимой переменной в этих графиках является путь. Для определения графиков пути и скорости по времени имеем

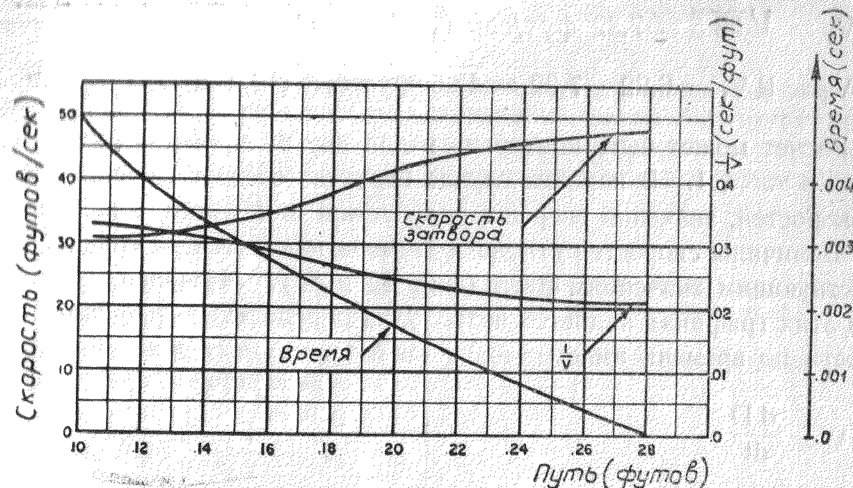
$$V = \frac{dD}{dt}$$

$$dt = \frac{dD}{V}$$

где D — путь



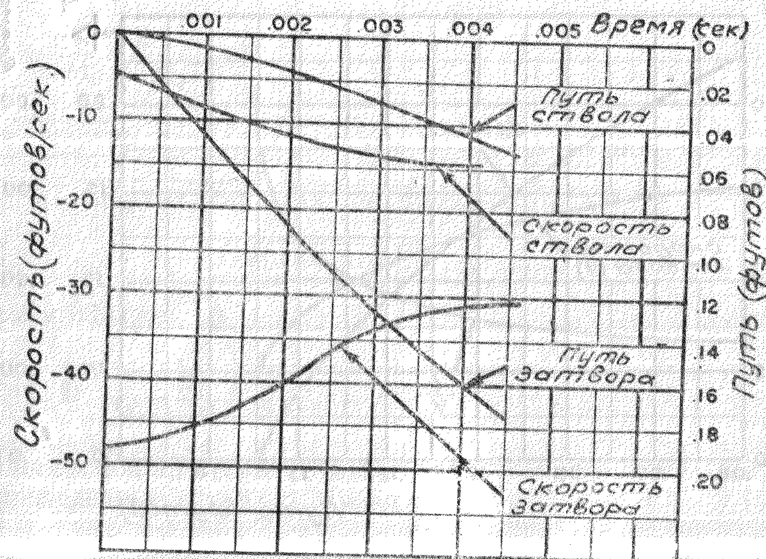
Фиг. 82. Графики скорости и времени движения ствола по пути ствола в период работы ускорителя в накате.



Фиг. 83. График скорости и времени движения затвора по пути затвора в период работы ускорителя в накате.

Таким образом, время движения на участке от D_1 до D_2 может быть установлено при помощи равенства

$$t = \int_{D_2}^{D_1} \left(\frac{1}{V}\right) dD$$



Фиг. 84. Движение затвора и ствола по времени в период работы ускорителя в накате.

Для определения времени нужно в первую очередь построить график скорости (фиг. 82 и 83). Так как ствол и затвор накатываются вперед, их пути уменьшаются. Поэтому время можно определить, интегрируя справа налево график $\frac{1}{V}$. Получив значения времени в функции пути, мы можем найти величины пути и скорости, соответствующие каждому значению времени, и использовать эти данные для построения кривых скорости и пути по времени (фиг. 84). Следует обратить внимание на то, что действие ускорителя увеличивает скорость ствола с 4.8 до 15 фут/сек и уменьшает скорость затвора с 48 до 30 фут/сек. Продолжительность работы ускорителя в накате равна .0045 *сек*. Время с начала цикла до конца работы ускорителя при накате равно .0441 *сек.*

12. Движение ствола и затвора после окончания работы ускорителя в накате

В конце движения наката ствола и затвора во время работы рычага ускорителя расстояние между ними равно .25 дюйма (6,25 *мм*), причем подвижные части находятся в том же положении, в каком они были при откате перед включением в работу ускорителя. Рычаг ускорителя продолжает находиться между стволом и затвором до тех пор, пока они не сблизятся и не произойдет запирание канала ствола. Относительное перемещение ствола и затвора настолько невелико, что заканчивается очень быстро (примерно за .0015 *сек.*), вследствие чего небольшой участок профиля рычага, обеспечивающий это движение, не является особенно ответственным. Поэтому мы допускаем, что после отметки времени .0441 *сек*, кривые скорости затвора и ствола не изменятся. Для интервала времени .0015 *сек.* средняя скорость ствола равна примерно 16 фут/сек (4,8 *м/сек*), а скорость затвора — 30 фут/сек (9 *м/сек*), т. е. их средняя скорость относительно друг друга составит приблизительно 14 фут/сек (4,2 *м/сек*), а время, необходимое затвору для того чтобы догнать ствол,

$$t = \frac{D}{V_{av}} = \frac{.25}{12 \cdot 14} = .001485 \text{ сек.}$$

Таким образом, ствол и затвор снова встретятся в момент .0456 *сек* общего времени цикла на расстоянии 18 *мм* от крайнего переднего положения.

Когда затвор догоняет ствол, они сцепляются и происходит запирание. В момент удара при встрече скорость затвора равна 29.5 фут/сек (8.8 *м/сек*), а скорость ствола — 16.5 фут/сек (5 *м/сек*). Поскольку ствол сцепляется с затвором, они получают некоторую общую скорость, значение которой находим на основании закона, что количество движения

общей массы после удара равно суммарному количеству движения до удара.

$$M_r V_3 = M_1 V_1 + M_2 V_2$$

$$V_3 = \frac{M_1 V_1 + M_2 V_2}{M_r}$$

Для условий рассматриваемого примера

$$V_3 = \frac{45.5 \cdot 16.5 + 5 \cdot 29.5}{50} = 17.6 \text{ фут/сек. } (5,3 \text{ м/сек})$$

При движении ствола и затвора в крайнее переднее положение их скорость слегка увеличивается под действием суммарного усилия возвратных пружин. Поскольку путь, который остается пройти стволу и затвору, мал, расчет движения массы ствола и затвора можно будет провести при среднем усилии их пружин, т. е. при

$$F = F_{o_1} = F_{o_2} + .03 (K_1 + K_2) 250 + 25 + .03 (3600 + 120)$$

$$F = 387 \text{ фунт } (177,5 \text{ кг.})$$

Тогда скорость увеличится на

$$V = \frac{F}{M} t = \frac{387.0 \cdot 32.2}{50} t = 250 t$$

Увеличение скорости наката отмечено некоторым подъемом кривой скорости после запирания, причем в течение .004 *сек.* скорость увеличивается на 1.0 фут/сек. Поскольку средняя скорость подвижных частей после запирания равна примерно 18 фут/сек (5,4 *м/сек*), время, необходимое для прохождения последних .06 фута (18 *мм*) пути,

$$t = \frac{D}{V_{av}} = \frac{.60}{18.0} = .0033 \text{ сек.}$$

Таким образом, подвижные части приходят в крайнее переднее положение через .0490 *сек.* после начала цикла автоматики. На фиг. 79 приведены графики пути и скорости ствола и затвора для полного цикла работы автоматики.

Скорость подвижных частей в момент прихода в крайнее переднее положение равна 18.2 фут/сек (5,45 *м/сек*). При такой скорости их кинетическая энергия

$$E = \frac{1}{2} MV^2 \frac{50.0}{2 \cdot 32.20} \cdot 18.20^2 = 257 \text{ фунт.фут } (34,2 \text{ кг.м})$$

Это количество энергии достаточно велико и может вызвать резкий удар, если допустить останов подвижных частей в крайнем положении на передней стенке коробки автоматики. Для поглощения излишка энергии подвижных частей применяется тяжелый буфер. Примерные характеристики такого буфера можно определить, вычислив, какое сопротивление он должен оказывать, чтобы остановить подвижные части на расстоянии .25 дюйма (6, 25 *мм*). Усилие этого сопротивления.

$$F = \frac{E}{D} = \frac{257}{.0208} = 12350 \text{ фунт } (5480 \text{ кг})$$

Следует отметить, что конструкция буфера должна быть такова, чтобы воспринимаемая им энергия поглощалась, т. е. чтобы подвижные части после удара не отскакивали, так как в противном случае будет невозможно добиться стабильной работы автоматики.

Как было указано выше, при анализе систем с коротким ходом ствола, проблема остаточной энергии подвижных частей при накате может быть достаточно просто решена за счет воспламенения очередного патрона в тот момент, когда подвижные части еще накатываются. Таким образом, для останова подвижных частей или для того, чтобы отчасти разгрузить буфер, можно будет использовать силу давления пороховых газов.

Эта сила может обеспечить останов и затем перемену направления подвижных частей даже без наличия буфера, но при этом нужно учесть одно очень важное обстоятельство. Окончательная скорость наката подвижных частей равна 18.2 фут/сек (5,45 *м/сек*), и поэтому количество движения массы подвижных частей

$$MV = \frac{50}{32.2} \cdot 18.2 = 28.3 \text{ фунт.сек } (12,5 \text{ кг.сек})$$

Так как общий импульс равен всего лишь 35 фунт.сек (15,8 *кг.сек*), если использовать для останова подвижных частей только силу пороховых газов, то для обеспечения отдачи при очередном выстреле останется всего 6.7 фунт.сек (3,05 *кг.сек*). Поскольку импульс, вызывающий откат подвижных частей, сократился так резко, можно ожидать, что очередной цикл автоматики будет проходить медленнее, чем первый. Следовательно, при стрельбе установится какой-то промежуточный темп. Точная величина темпа стрельбы оружия в настоящий момент нас не интересует; следует только отметить, что она, безусловно, снизится, так как значительная часть импульса пороховых газов будет затрачена на останов накатывающихся подвижых частей в переднем положении. Таким образом, преимущество, полученное от использования силы давления пороховых газов в канале ствола в качестве буфера при последующем выстреле, может быть сохранено лишь за счет уменьшения скорости подвижных частей, а следовательно, и темпа стрельбы.

Для того чтобы избежать чрезмерного уменьшения темпа стрельбы, обычно рекомендуется останавливать накат подвижных частей одновременно с помощью импульса пороховых газов от очередного патрона и буферного устройства. Благодаря этому, останов подвижных частей при накате происходит менее резко и нет необходимости прибегать к мощным буферным устройствам. Кроме того, исключается возможность больших потерь импульса пороховых газов и снижения скорости отката подвижных частей.

Правда, нормальная работа автоматики при таких условиях требует высокой точности выстрела по времени. Если выстрел произойдет слишком рано, то буферное устройство не будет полностью использовано для торможения подвижных частей и слишком большая доля порохового импульса пойдет на останов. Очевидно, что при этом отдача будет слишком слабой.

С другой стороны, если выстрел произойдет слишком поздно, то буфер будет очень перегружен и весь импульс пороховых газов пойдет на отдачу подвижных частей. Скорость подвижных частей в этом случае резко возрастет.

Если вибрации при выстреле нежелательны, то действие буфера может быть растянуто по времени и по пути поджатия. Например, подвижные части весом 50.0 фунтов, движущиеся со скоростью 18.2 фут/сек, сжимают буфер на участке пути в .25 дюйма при среднем усилии буфера в 12350 фунтов. Тогда время поджатия буфера

$$t = \frac{MV}{F_{av}} = \frac{28.3}{12350} = .00229 \text{ сек}$$

Если бы величина поджатия буфера была равна .5 дюйма, то его среднее усилие понизилось бы до 6175 фунтов, а время поджатия

$$t = \frac{MV}{F_{av}} = \frac{28.3}{6175} = .00458 \text{ сек.}$$

Таким образом, увеличивая длину поджатия буфера, можно замедлить торможение подвижных частей, и небольшая ошибка при выстреле уже не сможет оказать существенного влияния.

При построении графиков пути и скорости по времени (см. фиг. 79) мы допускали, что подвижные части в момент выстрела не движутся и для их останова в накате используется только один буфер. На основе этого допущения были установлены среднее усилие буфера 12350 фунт и величина его поджатия .25 дюйма, обеспечивающие останов подвижных частей через .00229 *сек.* после начала торможения. Затем подвижные части под действием упругих сил буфера возвращаются в исходное положение. Как было условлено, большая часть энергии удара подвижных частей о буфер рассеивалась в нем, поэтому отскока не было. Следует отметить, что подвижные части перед очередным выстрелом несколько выкатываются вперед. Общее время цикла автоматики равно .0522 *сек.*, и поэтому теоретически темп стрельбы рассматриваемого оружия

$$N = \frac{60}{.0522} = 1150 \text{ выстр/мин.}$$

Если конструкция оружия рассчитана на использование определенной части импульса пороховых газов очередного выстрела для останова накатывающихся подвижных частей, то кривые на фиг. 78 будут иметь другой вид, так как часть импульса отдачи будет потеряна при торможении подвижных частей в крайнем переднем положении. Однако, за исключением этой небольшой разницы, порядок расчета остается без изменения. При расчете подобной конструкции необходимо только заранее определить величину количества движения, которая должна уравновесить импульс пороховых газов при выстреле, и затем вычесть полученную величину из количества движения, сообщаемого подвижным частям.

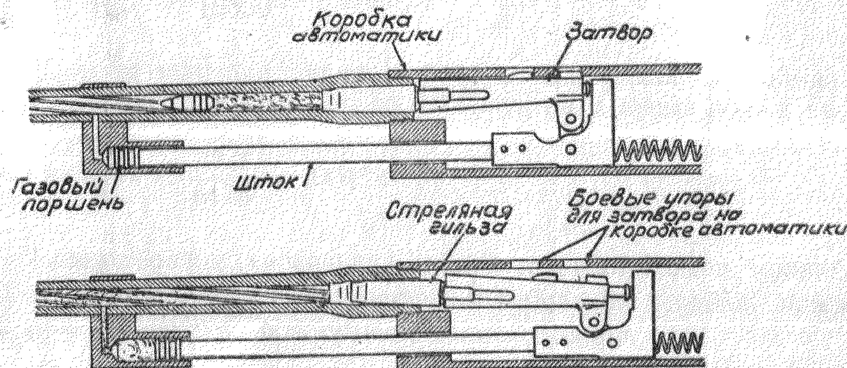
Глава третья

СИСТЕМЫ, ОСНОВАННЫЕ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОТВОДА ПОРОХОВЫХ ГАЗОВ ИЗ КАНАЛА СТВОЛА ДЛЯ ПРИВЕДЕНИЯ В ДЕЙСТВИЕ АВТОМАТИКИ

I. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ

В любом автоматическом оружии основным источником энергии являются газы, образующиеся при сгорании порохового заряда и находящиеся под высоким давлением. Это относится и к системам с отдачей затвора, и к системам с отдачей ствола, и, особенно, к системам с отводом пороховых газов.

В типичной системе, основанной на принципе отвода пороховых газов (фиг. 85), в стенке ствола имеется отверстие. Как только дно снаряда пройдет мимо этого отверстия, часть пороховых газов из канала ствола по специальному газопроводу отводится к торцу газового поршня

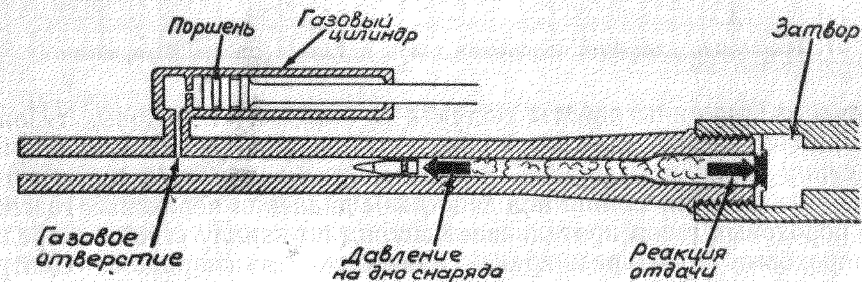


Фиг. 85. Типичное оружие, основанное на принципе использования отвода пороховых газов.

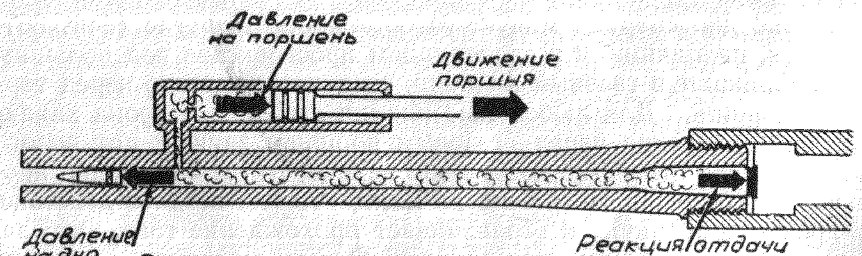
(или подобной по назначению детали). Энергия отводимых из ствола пороховых газов используется для отпирания канала ствола, отбрасывания затвора назад и для приведения в действие других механизмов автоматики.

Система с отводом газов может иметь самые разнообразные конструктивные формы. Наиболее распространенная состоит из простейшего газового цилиндра и поршня, отбрасываемого назад давлением пороховых газов и передающего энергию затвору путем прямого контакта. В некоторых случаях поршень может перемещаться под давлением пороховых газов не назад, а вперед, однако это изменение существенно не влияет на работу автоматики*. Конструкция детали, непосредственно воспринимающей давление пороховых газов, может быть различной: поршень, втулка, трубка, планка. Даже «плавающий» патронник, применяемый в малокалиберном учебном пулемете Браунинга, также является специальной формой поршня.

Методы передачи энергии от поршня к рабочему механизму оружия также весьма разнообразны. Часто поршень передает энергию затвору не непосредственно, а через специальный рычаг или пружину, благодаря чему смягчается удар и происходит более рациональное распределение энергии между отдельными звеньями автоматики.



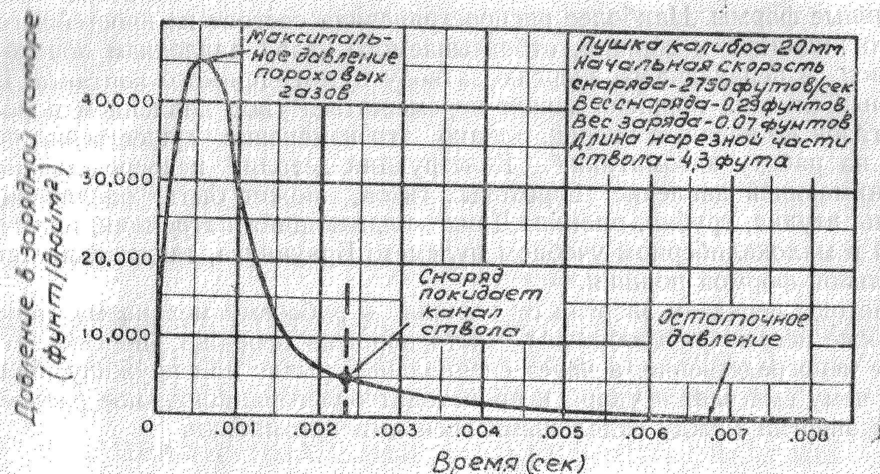
А Условия в системе до момента прохода снаряда мимо газового отверстия



В Условия в системе после прохода снаряда мимо газового отверстия

Фиг. 86. Действие пороховых газов в газовом цилиндре.

*В каждом конкретном случае влияние направления движения деталей на работу автоматики при учете подвижности коробки автоматики должно подвергаться строгому анализу. (Прим. ред.)

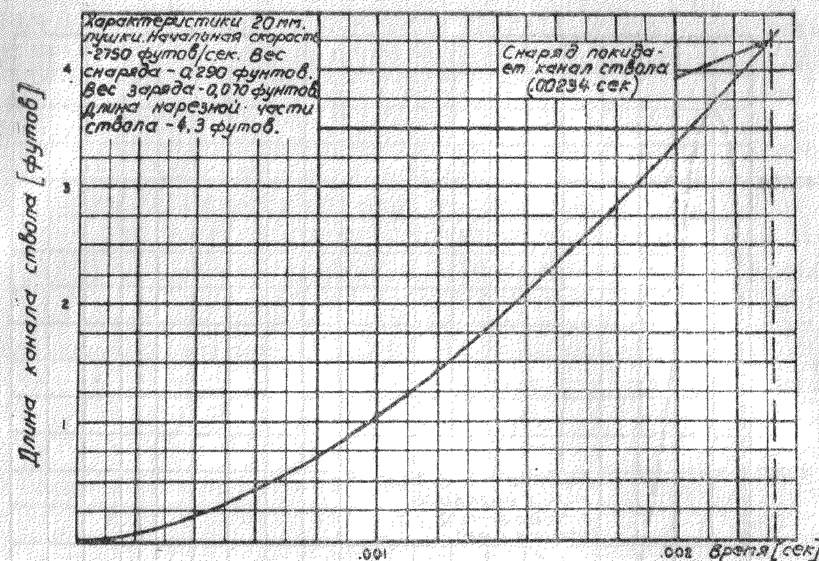


Фиг. 87. Изменение давления пороховых газов в канале ствола во времени.

Основные принципы работы системы с отводом пороховых газов показаны на фиг. 86. На фиг. 86, А показаны условия, возникающие при воспламенении порохового заряда. Затвор жестко запирает ствол, удерживая дно гильзы от смещения под действием давления пороховых газов. Импульс пороховых газов проталкивает снаряд по каналу ствола вперед, причем пороховые газы, расширяясь, движутся за снарядом. Центр тяжести массы пороховых газов движется вперед со скоростью, равной примерно половине скорости движения снаряда. Та же сила, которая вызывает движение снаряда и пороховых газов вперед, стремится создать движение оружия назад. Эта реакция известна как усилие отдачи*.

Как только дно снаряда минует газоотводное отверстие (фиг. 86), пороховые газы, находящиеся в заснарядном пространстве под большим давлением, проникают в газовый цилиндр, создавая давление перед торцем газового поршня. Для любой комбинации ствола и патрона характер нарастания давления перед газовым поршнем зависит от целого ряда факторов. Если отверстие достаточно велико, то газы свободно протекают сквозь него, если же отверстие мало, то оно создает действие, подобное дросселированию, и ограничивает прохождение газа, что замедляет рост давления в газовом цилиндре. Форма и размеры отверстия сильно влияют на характер истечения газа. Степень нарастания давления в газовом цилиндре зависит также и от ряда других причин, например от разности давлений в стволе и в газовом цилиндре (величина перепада), от начального объема цилиндра и степени изменения этого

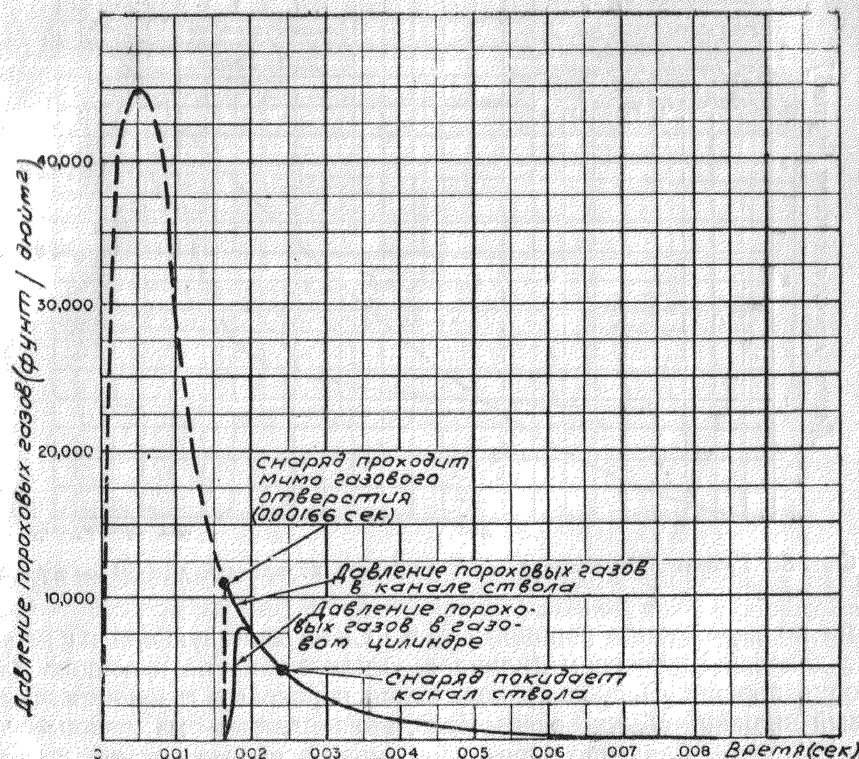
*Характер действия усилия отдачи и ее изменения по времени детально описаны во второй главе.



Фиг. 88. График пути снаряда в канале ствола по времени для 20-мм пушки.

объема по мере отхода поршня и т. д. Сила, действующая на поршень, равна давлению в газовом цилиндре, умноженному на проекцию площади торца поршня. Поскольку количество пороховых газов, отводимых в газовый цилиндр, обычно очень мало, это не влияет на начальную скорость снаряда. Давление пороховых газов в канале ствола с момента прохождения снарядом газоотводного отверстия непрерывно уменьшается. Характер изменения давления для данного заряда зависит от длины ствола. Например, на фиг. 87 показано изменение давления в канале ствола 20-*мм* пушки при длине ствола порядка 5 футов (1500 *мм*), а на фиг. 88 показано, как изменяется путь снаряда в канале ствола по времени для той же 20-*мм* пушки. Допустим, что газоотводное отверстие в рассматриваемом оружии расположено на расстоянии 2.5 футов (750 *мм*) от начала нарезов. Снаряд проходит мимо отверстия через .0016 *сек.* после воспламенения порохового заряда. Давление в стволе в этот момент равно 11000 фунт/дюйм² (774 *кг/см²*). Когда снаряд покидает канал ствола (.00243 *сек.*), давление в стволе уменьшается до 5000 фунт/дюйм² (350 *кг/см²*), причем остаточное давление продолжает падать и снижается до атмосферного при отметке времени .0080 *сек.*

График изменения давления пороховых газов в канале ствола представлен на фиг. 89. На той же фигуре показана кривая изменения давления пороховых газов в газовом цилиндре, полученная при допущении, что количество пороховых газов, перетекающих в газовый цилиндр из ствола, слишком мало, чтобы оказать какое-то влияние на давление в канале ствола, а размеры отверстия настолько велики, что давление в газовом цилиндре быстро возрастает до значения, равного давлению в канале ствола. Поскольку давление в канале ствола падает плавно,



Фиг. 89. Давление в канале ствола и давление в газовом цилиндре.

давление в газовом цилиндре остается примерно таким же, как в канале ствола. Если в газовом цилиндре нет отсечки газа, то давление в нем становится равным атмосферному примерно тогда же, когда остаточное давление пороховых газов в канале ствола приблизится к атмосферному.

Обычно отверстие в стволе относительно мало и вызывает известное дросселирование пороховых газов, причем давление в газовом цилиндре бывает несколько меньше соответствующего по времени давления в канале ствола.

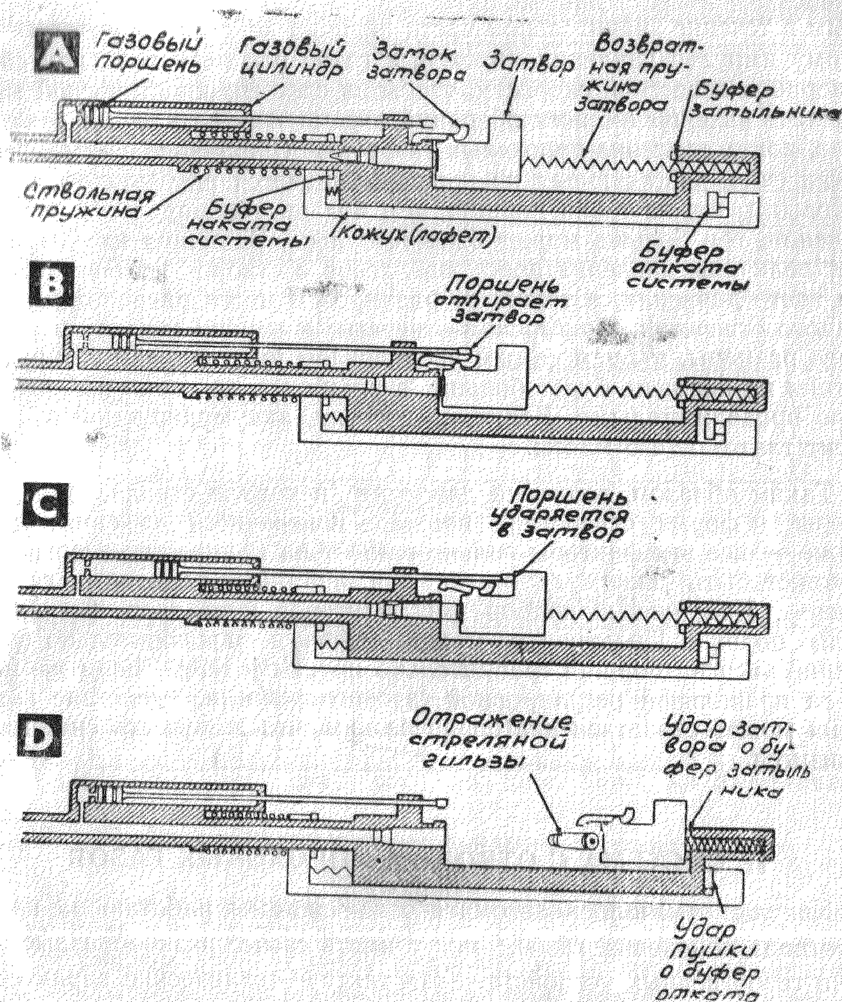
Анализ графика (фиг. 89) показывает, что газовый поршень подвергается давлению пороховых газов в течение весьма короткого времени. Газы начинают давить на поршень, как только снаряд проходит мимо отверстия (при отметке времени .00166 *сек.*), и прекращают свое действие примерно через .008 *сек.*, т. е. тогда, когда остаточное давление пороховых газов становится равным атмосферному. Таким образом, общее время действия пороховых газов на поршень равно .00800 — — .00166 = .00634 *сек.* Поскольку этот промежуток времени очень мал, использовать силу давления газов для непосредственного привода механизмов оружия нецелесообразно, так как затвор должен оставаться запертым в течение значительной части периода действия пороховых газов. Поэтому импульс давления пороховых газов используется для сообщения поршню известной скорости, чтобы за счет его кинетической энергии обеспечить выполнение всех операций автоматического цикла даже в тот период, когда давление пороховых газов уже сравнялось с атмосферным. Так как сила, действующая на поршень, является результатом давления пороховых газов на торец поршня, чем больше площадь его поперечного сечения, тем больше может быть импульс. Величина импульса зависит от величины давления пороховых газов в стволе и от времени действия этого давления, а также от размеров и места расположения газоотводного отверстия. Приближая отверстие к пеньку ствола и увеличивая его размеры, мы тем самым увеличиваем импульс, так как величина давления на поршень будет больше, а время его действия в газовом цилиндре продолжительнее. Величина энергии, аккумулируемой в поршне, зависит также от его массы.

Таким образом, величина давления в канале ствола, положение, размеры и форма отверстия, площадь поперечного сечения и масса поршня — все эти факторы сильно влияют на количество энергии, которое может быть аккумулировано при действии пороховых газов на поршень. Правильный подбор этих факторов позволяет регулировать энергию поршня. Практически можно добиться исключительно высоких значений энергии поршня сравнительно простым путем. Если же не следить за правильной регулировкой газового режима, действие газового поршня может оказаться настолько резким, что живучесть системы резко снизится.

II. СИСТЕМА С ОТВОДОМ ПОРОХОВЫХ ГАЗОВ

Как уже отмечалось, автоматические системы, работающие на принципе отвода пороховых газов, могут иметь самые разнообразные конструкции газоотводных устройств. Хотя тактико-технические характеристики оружия до известной степени зависят от конструкции газоотводного устройства, тем не менее все системы, работающие на принципе отвода пороховых газов, подобны друг другу.

На фиг. 90, А схематически показаны основные элементы оружия, работающего при помощи отводимого порохового газа: затвор, устройство, обеспечивающее отпирание и запирание канала ствола, затыльник с буфером, возвратная пружина затвора, газовый цилиндр, поршень, лафет или люлька, дающая возможность всему оружию откатываться назад при выстреле, и возвратная пружина ствола. Со ствольной пружиной связаны буфера, обеспечивающие останов оружия при откате и накате. На чертежах схематически показаны различные этапы цикла автоматики.



Фиг. 90. Основные элементы системы газоотводного типа.
A — положение деталей автоматики перед выстрелом.
B — положение деталей автоматики в момент отпирания.
C — удар поршня о затвор.
D — положение деталей на буфере.

Описание автоматического цикла

Цикл автоматики начинается, когда патрон находится в патроннике ствола, затвор заперт (фиг. 90, A). При выстреле снаряд и пороховые газы перемещаются вперед по каналу ствола, и одновременно весь механизм оружия отбрасывается назад. Во время действия давления пороховых газов торможение, вызываемое ствольной пружиной, отно-

сительно мало, и единственным фактором, ограничивающим ускорение отката, является масса откатных частей*.

В 20-*мм* пушке с максимальным давлением пороховых газов в канале ствола, равным 45000 фунт/дюйм² (3160 *кг/см²*), наибольшее усилие отдачи равно почти 22000 фунтов (10 *т*). Это усилие настолько велико, что нецелесообразно жестко крепить пушку на установке. Время, в течение которого снаряд проходит мимо газового отверстия, зависит от положения последнего по длине ствола и обычно равно .001-.002 *сек.* после воспламенения порохового заряда. Как только снаряд пройдет мимо газового отверстия, пороховые газы устремляются в газовый цилиндр, создавая давление перед поршнем. Поршень начинает отходить назад. Конструктивно ход поршня и связанных с ним деталей рассчитан так, что затвор при откате поршня отпирается не сразу после начала движения поршня, а через некоторое время, необходимое для того чтобы в момент отпирания снизить давление пороховых газов в стволе. Отпирание должно произойти через .001-.002 *сек.* после вылета снаряда из канала ствола (фиг. 90, B).

После отпирания давление газов в газовом цилиндре еще продолжает действовать на поршень. На затвор через дно гильзы действует остаточное давление, вследствие чего после отпирания происходит свободный откат затвора. Вскоре после отпирания поршень ударяется о затвор и передает ему свою кинетическую энергию, что вызывает резкое ускорение затвора (фиг. 90, C). По окончании работы поршня коробка автоматики завершает свой откат ударом по буферу, который поглощает не поглощенную ствольной пружиной энергию отдачи. По окончании отката ствола со ствольной коробкой под действием сжатой ствольной пружины начинается накат, и ствол со ствольной коробкой останавливаются в переднем положении на буфере наката.

В момент отпирания затвор уже обладает значительной скоростью, полученной им за счет скорости отката системы до отпирания. Эта скорость увеличивается благодаря суммарному действию отдачи затвора и удара газового поршня. В результате скорость затвора достигает значительной величины. В дальнейшем затвор откатывается назад по инерции до тех пор, пока расстояние между пеньком ствола и затвором не окажется достаточным для обеспечения подачи очередного патрона. При откате затвора назад стреляная гильза извлекается из патронника и отражается из коробки автоматики, а возвратная пружина сжимается. Эта пружина сравнительно слаба и предназначена только для обеспечения наката затвора. Поэтому возвратная пружина не поглощает всю энергию затвора, откатывающегося на всем пути со значительной скоростью. В конце отката затвор ударяется о буфер затыльника и отскакивает (фиг. 90, Д). При ударе затвора о буфер часть его энергии переходит в тепловую.

*В системах с отводом пороховых газов также необходимо обеспечить всему оружию возможность отката для уменьшения силового воздействия пушки на установку.

Важно отметить, что скорость, с которой затвор ударяется о буфер затыльника, зависит от условий движения пушки в момент удара. Если пушка в этот момент движется вперед, то скорость удара будет больше, чем в том случае, когда пушка стоит неподвижно или движется назад. Следовательно, если возвратно-поступательное движение пушки не контролируется и скорости пушки нестабильны, особенно в момент удара затвора о буфер, то движение затвора становится совершенно бесконтрольным и может в самых широких пределах изменяться от выстрела к выстрелу, делает неравномерным темп стрельбы и снижает живучесть деталей пушки.

Когда после отскока от буфера затвор идет в накат, его скорость увеличивается за счет возвратной пружины. При движении вперед затвор захватывает очередной патрон, досылает его в патронник и запирает канал ствола. Обычно стремятся к тому, чтобы накат ствола и запирание затвора заканчивались до того, как пушка придет в крайнее переднее положение. В этом случае при небольшом недокате пушки приводится в действие ударный или иной стреляющий механизм и начинается новый цикл автоматики. Очередной выстрел происходит тогда, когда ствол и ствольная коробка еще не пришли в свое крайнее переднее положение. Поэтому скорость наката пушки поглощается силой отдачи при выстреле и лишь после остановки пушки начинается очередной откат. Такая согласованность работы ударного механизма с движением пушки позволяет применять относительно слабую ствольную пружину.

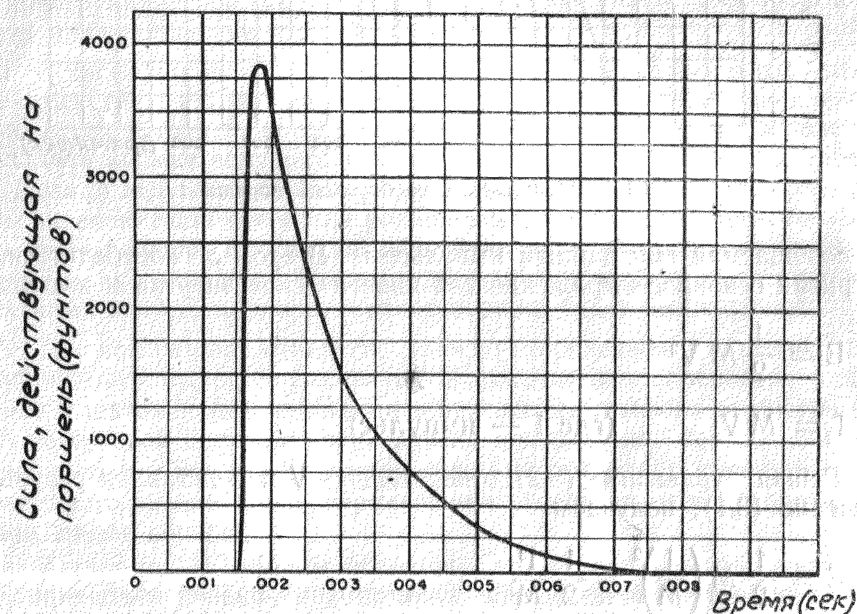
Анализ процесса отвода пороховых газов

Принцип отвода пороховых газов имеет ряд преимуществ, что позволяет применять его в оружии самого различного назначения. Путем правильного подбора конструктивных элементов можно отладить работу газоотводного устройства так, что система будет функционировать с различным энергетическим балансом, причем очередность процессов цикла автоматики по времени может быть точно отрегулирована. Однако всем системам с отводом пороховых газов присущи и некоторые характерные недостатки.

Одним из основных свойств любой газоотводной системы является то, что в ней можно создать большой резерв энергии, так как отвод пороховых газов осуществляется в зоне достаточно высокого давления, а их импульс может быть приложен к сравнительно легкому ведущему элементу в то время, когда затвор еще заперт. Таким образом в период высоких давлений можно аккумулировать значительный запас энергии при жестком запирании канала ствола*.

*Энергия аккумулируется и в подвижных частях системы, основанной на принципе отдачи. Однако, хотя и там она аккумулируется также в первый период горения порохового заряда и при запертом затворе, детали, воспринимающие энергию отдачи, относительно тяжелы. Поэтому количество аккумулированной энергии от данного импульса будет относительно меньше, чем количество энергии, воспринимаемой легким поршнем при том же импульсе.

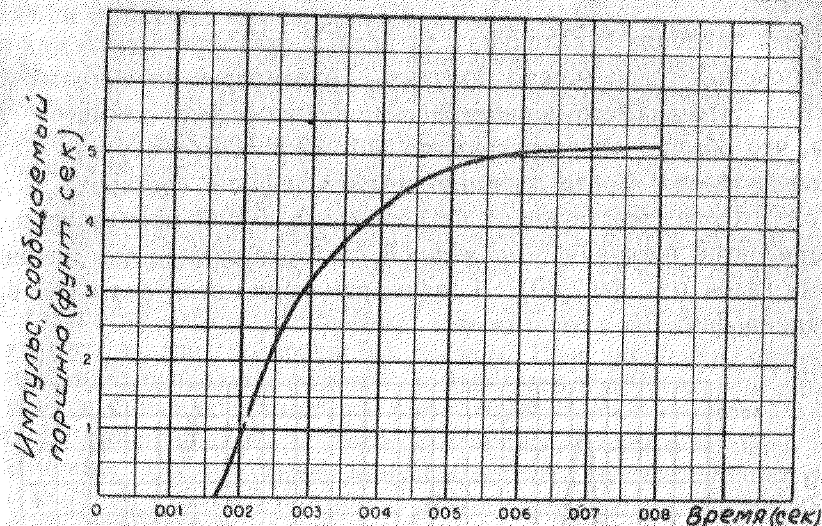
Представление о величинах энергии и скорости в системе с отводом пороховых газов можно получить, рассмотрев следующий пример. Допустим, что диаметр поршня 20-*мм* пушки равен диаметру канала ствола, что обычно для конструкции автоматического оружия с отводом пороховых газов. Тогда площадь сечения поршня составит .5 дюйма^2 (3,20 *см*^{2}). Сила, действующая на поршень в любой момент времени будет равна этой площади, умноженной на соответствующее давление пороховых газов (см. фиг. 89). График изменения этой силы по времени показан на фиг. 91.



Фиг. 91. График изменения силы, действующей на поршень.

Если считать, что единственной значительной силой, действующей на поршень, является давление пороховых газов, то полный импульс давления газов к моменту времени может быть установлен путем измерения соответствующей площади под графиком (фиг. 91). По результатам расчета можно построить график изменения величины импульса в течение времени. На фиг. 92 изображен подобный график. Общая величина импульса, приложенного к поршню, для рассматриваемого случая будет равна 5.13 фунт. сек (2,33 *кг.сек*).

Количество энергии, получаемой поршнем от импульса пороховых газов, зависит от массы поршня. Чем легче поршень, тем больше энер-



Фиг. 92. Импульс, сообщаемый поршню.

гия, сообщаемая ему данным импульсом. В этом легко убедиться, рассматривая основное выражение для кинетической энергии и импульса:

$$E = \frac{1}{2} M V^2 \qquad (3.1)$$

$$I = M V \qquad \text{(где I — импульс)} \qquad (3.2)$$

Решая уравнение (3.2) относительно V и подставляя результат в уравнение (3.1), получаем

$$E = \frac{1}{2} M \left(\frac{I}{M}\right)^2 = \frac{1}{2} \frac{I^2}{M}$$

Это показывает, что кинетическая энергия, получаемая при данном импульсе, обратно пропорциональна массе тела, к которому приложен импульс.

Если допустить, что поршень рассматриваемой системы весит 1.5 фунта (0,678 *кг*), то максимальную скорость поршня можно определить путем деления общего импульса, равного 5.13 фунт.сек (2,33 *кг.сек*), на массу поршня. Таким образом,

$$V = \frac{I}{M} = \frac{5.13 \cdot 32.2}{1.5} = 110 \text{ фут/сек } (33{,}7 \text{ м/сек.})$$

Кинетическая энергия, соответствующая этой скорости,

$$E = \frac{1}{2} M V^2 = \frac{1}{2} \cdot 1{,}5 \cdot \frac{110^2}{32.2} = 282 \text{ фунт.фут } (39{,}2 \text{ кгм})$$

Эти цифры показывают, что для принятых давления, расположения и размеров отверстия площади поперечного сечения и массы поршня и т. д. как скорость поршня, так и его энергия достаточно велики. Изменение любого из перечисленных факторов позволяет в значительной степени изменять скорость и энергию поршня. Например, их можно резко увеличить, увеличив диаметр отверстия или расположив его ближе к патрону, а также увеличив площадь поперечного сечения поршня или уменьшив его массу. И наоборот, их можно резко уменьшить за счет смещения газового отверстия к дульной части ствола, уменьшения газового отверстия для дросселирования газовой струи, увеличения массы поршня или уменьшения его диаметра. Очевидно, что теоретически конструкция системы с отводом пороховых газов позволяет получить почти любое значение энергии поршня.

С чисто практической точки зрения интересно отметить, что газовое отверстие должно располагаться в центре нареза канала ствола. Дело в том, что при врезании ведущего пояска снаряда в поле нареза на задней кромке ведущего пояска образуются заусенцы и натеки меди. Позади ведущего пояска обычно имеется проточка для размещения этих натеков. Если отверстие расположить на поле нареза, то заусенцы или натеки будут проталкиваться через него пороховыми газами, следующими за снарядом. После нескольких выстрелов отверстие забьется остатками ведущего пояска и откат поршня будет неэнергичным.

Так как газовое отверстие должно помещаться в нарезке, при проектировании следует согласовать положение закрепленного в коробке ствола с шагом нарезов. Изменить положение газового отверстия в стволе уже готовой системы практически невозможно без серьезной переделки пушки. Это же обстоятельство не позволяет изменять величину зеркального зазора путем перемещения ствола за счет поворота в резьбовом гнезде коробки.

В системе с отводом пороховых газов зеркальный зазор может регулироваться только при помощи специального устройства, детали которого могут быть подобраны с расчетом получения зеркального зазора, обеспечивающего нормальные условия работы оружия. Вследствие того, что изготовление этого механизма для системы с отводом пороховых газов весьма затруднительно и, особенно, что сохранение определенного зеркального зазора в такой системе связано с большими трудностями, иногда практикуется применение смазанных патронов, чтобы избежать разрывов гильз, неизбежных при нарушении заданного зеркального зазора. Этот недостаток является характерным для всех систем с отводом пороховых газов и забывать о нем не следует.

Другим серьезным недостатком систем с отводом пороховых газов является то, что темп стрельбы системы крайне чувствителен к параметрам газового отверстия. Размеры и форма газового отверстия должны подбираться особенно тщательно и в процессе массового производства строго контролироваться. Кроме того, чтобы обеспечить эксплуатационные характеристики оружия, надо предохранить газовые отверстия от

размывания пороховыми газами и от засорения остатками порохового заряда. Часто на газоотводных системах в зоне газовых отверстий применяются сменные вкладыши, позволяющие производить разборку с целью чистки или замены деталей. В некоторых случаях оружие снабжается регуляторами газа с набором отверстий различного диаметра, что позволяет обеспечить нормальную работу системы в тяжелых эксплуатационных условиях или при значительном износе канала ствола. Что же касается размыва газового отверстия, то чем ближе оно расположено к патроннику, тем значительнее размыв. Здесь большую помощь оказывает применение вкладышей из стеллита, молибдена и других тугоплавких и прочных материалов. Тем не менее размыв отверстия газом ставит известные пределы стремлению располагать его как можно ближе к пеньку ствола.

Для обеспечения нормальной работы системы с отводом пороховых газов необходимо обеспечить такое время движения поршня, чтобы отпирание затвора и передача энергии от поршня к затвору происходили тогда, когда давление в патроннике достигнет вполне определенной величины. Прежде чем приступить к изложению метода определения этих параметров, необходимо установить, какие условия движения поршня могут дать наибольший эффект для получения заданного темпа стрельбы.

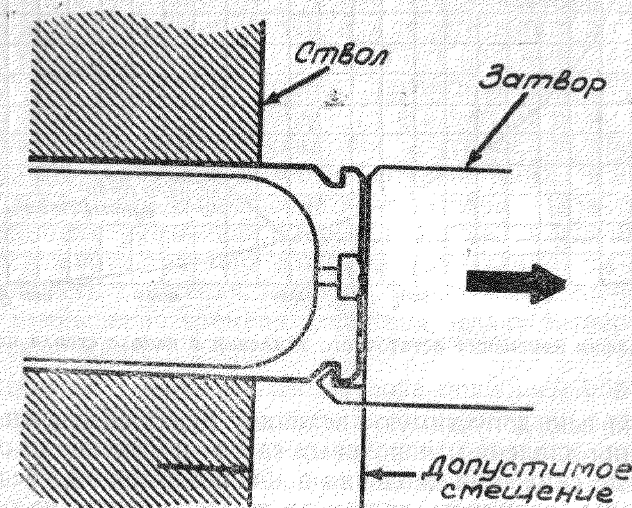
Во-первых, механизм отпирания должен быть рассчитан так, чтобы затвор отпирался в тот момент, когда давление в канале ствола уже не может повредить гильзу. Таким путем можно достичь предельно большого темпа стрельбы, избежав непроизводительных расходов времени цикла и увеличив энергию затвора за счет его свободной отдачи под действием остаточного давления пороховых газов.

Чтобы облегчить экстракцию гильзы и добиться наилучшего использования отдачи затвора, следует исключить возможность защемления гильзы или возникновения сильного трения между стенками гильзы и стенками патронника после отпирания затвора.

Если патрон смазан, значительное трение гильзы и тугая экстракция, как правило, исключаются. При отсутствии смазки экстракция, как правило, бывает тугой. Это происходит вследствие того, что при максимальном давлении пороховых газов и сильном нагреве стенок патронника и гильзы последние сильно деформируются. При отпирании в условиях большого остаточного давления стенки гильзы не успевают своевременно принять исходные размеры и поэтому отдача затвора и смещение гильзы притормаживаются. Этого можно избежать с помощью так называемого предварительного сдвига гильзы.

Если это учтено при проектировании запирающего механизма, то в конце отпирания затвора гильза с помощью специального кулачка несколько смещается назад. Конус гильзы выходит из конусов патронника, и отдача затвора под действием остаточного давления пороховых газов происходит беспрепятственно. Использование отдачи затвора ограничивается тем, что гильза не должна выходить из патронника, если оста-

точное давление пороховых газов в канале ствола достаточно велико и может вызвать раздутие или надрыв гильзы у дна. Предел смещения гильзы при соответствующем давлении пороховых газов зависит от конструкции гильзы. Чтобы оценить предел смещения для данной гильзы, нужно знать, какое давление могут выдержать ее стенки у дна в тот момент, когда они не охватываются стенками патронника (фиг. 93).

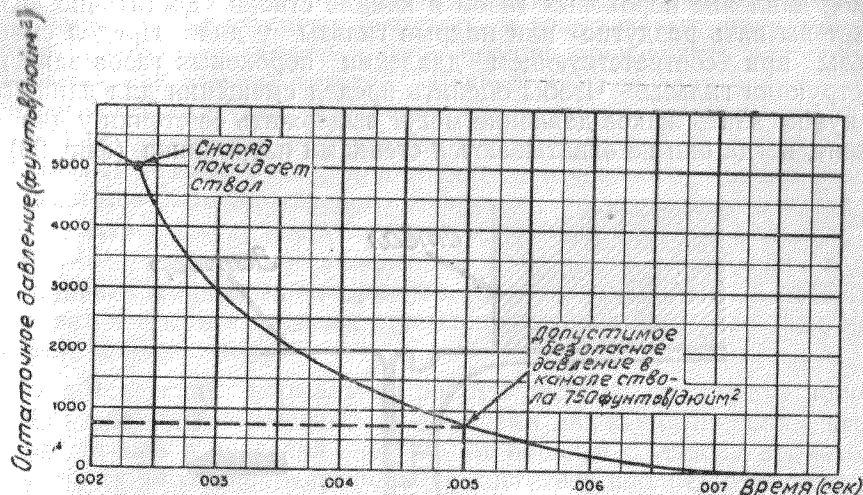


Фиг. 93. Предельная величина смещения гильзы назад.

Возможность разрыва гильзы обычного 20-*мм* патрона возникает в тот момент, когда она сдвигается назад на .25 дюйма (6,25 *мм*). Если гильза прошла этот путь, можно считать, что ее прочность не будет нарушена при условии, что давление в канале ствола в этот момент не будет превышать 750 фунт/дюйм^2 (52,7 *кг/см*^{2}).

На фиг. 94 представлен график изменения остаточного давления пороховых газов по времени для 20-*мм* патрона. Из графика видно, что давление достигает 750 фунт/дюйм^2 через .005 *сек.* после воспламенения порохового заряда. Величины предельного смещения должны определяться экспериментальным путем для каждого конкретного патрона.

Если вес затвора задан, ограничить его смещение можно только путем подбора соответствующего времени отпирания. Если затвор будет отперт слишком рано, то, очевидно, его отдача, а следовательно, и скорость могут быть настолько большими, что допустимое смещение будет перекрыто раньше, чем давление в канале ствола уменьшится до безопасной величины. Наоборот, если момент отпирания слишком затянуть, то импульс, сообщаемый затвору, будет небольшим и отдача затвора не будет использована. Идеальным для затвора заданного веса и данного патрона будет такое время отпирания, при котором возможность полно-



Фиг. 94. График изменения остаточного давления в канале ствола по времени.

го смещения на всю допустимую величину будет обеспечена затвору к моменту падения давления пороховых газов в стволе до определенной величины. После снижения давления в канале ствола до безопасной для прочности гильзы величины, движение гильзы можно не ограничивать. С этого момента нет необходимости ограничивать скорость затвора, если не считать пределов, устанавливаемых требованиями прочности деталей и кучности боя.

Ставим задачу — добиться максимально возможного ускорения затвора под действием отдачи. При этом необходимо получить высокие скорости затвора, не превышая величины смещения гильзы и затвора (.25 дюйма). Если время этого смещения достаточно велико, то ожидать больших значений средней скорости затвора не приходится. Если же оно относительно небольшое, средняя скорость затвора может быть достаточно высокой. Например, предположим, что затвор отпирается за .002 *сек.* до того, как давление в стволе станет допустимым. Следовательно, затвор может переместиться на .25 дюйма за .002 *сек.*, т. е. его средняя скорость за этот интервал времени.

$$V_{av} = \frac{D}{t} = \frac{.25}{12} \cdot \frac{1}{.002} = 10.4 \text{ фут/сек } (3{,}12\ м/сек)$$

Допустим теперь, что затвор был отперт всего лишь за .001 *сек.* до того, как давление в канале ствола достигло допустимой величины. В этом случае затвор может пройти путь в .25 дюйма со скоростью

$$V = \frac{D}{t} = \frac{.25}{12} \cdot \frac{1}{.001} = 20.8 \text{ фут/сек } (6{,}25\ м/сек)$$

Приведенные примеры показывают, что, уменьшая время действия отдачи затвора до момента безопасного давления в канале ствола, можно значительно увеличить скорость затвора, не превышая при этом величину безопасного перемещения затвора. Разумеется, необходимо иметь в виду, что уменьшение времени действия отдачи затвора уменьшает импульс, обеспечивающий увеличение скорости затвора. Поэтому, чтобы увеличить среднюю допустимую скорость затвора и одновременно уменьшить время действия отдачи, нужно уменьшить вес затвора. Например, если скорость 10.4 фут/сек может быть получена для затвора весом 8 фунтов (3,6 *кг*), то, для того чтобы получить скорость 20.8 фут/сек, надо уменьшить вес затвора по крайней мере в четыре раза. Фактически же при уменьшении остаточного давления в стволе со временем, среднее давление во втором случае будет значительно ниже, чем в первом, и потребуется дальнейшее уменьшение веса затвора. Практически вес затвора должен быть уменьшен в 6 раз, т. е. до 1.3 фунтов (0,6 *кг*) (возможно, что такой вес затвора слишком мал для 20-*мм* пушки). Таким образом, скорость движения затвора может быть значительно увеличена за счет уменьшения времени действия отдачи затвора при одновременном уменьшении его веса.

Практически уменьшать вес затвора подобным образом нереально. Но нам важно установить, что использование отдачи затвора в системе с отводом пороховых газов может увеличить скорость затвора, а следовательно, и темп стрельбы. Однако это может быть достигнуто только при условии точного соблюдения времени отпирания и при предельном облегчении конструкции затвора.

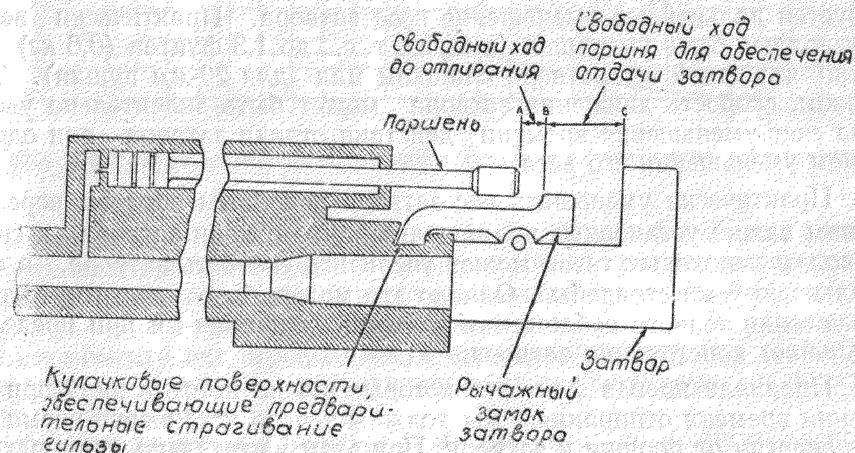
Проанализировав факторы, которые нужно иметь в виду при определении времени отпирания, мы должны теперь установить время передачи энергии от поршня к затвору. При этом желательно учитывать требования эффективного использования отдачи затвора.

Как указывалось ранее, можно выбрать время отпирания с таким расчетом, чтобы получить максимальный импульс от остаточного давления пороховых газов, величина которого ограничивается только надежностью перемещения затвора в допустимых пределах.

Допустим, что с точки зрения наиболее полного использования импульса отдачи затвора, время отпирания нами выбрано правильно. Определим теперь время удара поршня о затвор. Поршень может сообщить затвору такую дополнительную скорость, которая вызывает перемещение, превышающее допустимое, прежде чем давление в канале ствола достаточно снизится. Можно устранить этот недостаток, отдалив момент отпирания затвора и соответственно уменьшив импульс его отдачи. Однако это приведет к тому, что эффект отдачи затвора будет использован не полностью и потерянная при этом энергия должна будет восполняться за счет энергии поршня. С точки зрения общего энергетического баланса системы это обстоятельство, возможно, и не имеет существенного значения, так как газоотводное устройство обладает практически неограниченным запасом энергии. Но вместе с тем нельзя забывать,

что отдача затвора является, так сказать, «даровым источником энергии», тогда как получение дополнительной энергии от поршня связано с известными конструктивными трудностями.

Из сказанного ясно, что работа поршня по времени должна быть рассчитана так, чтобы отпирание затвора и предварительное страгивание гильзы были согласованы с максимальным использованием импульса отдачи. Лишь после того, как давление пороховых газов в стволе упадет до безопасной величины, можно начинать передачу энергии от поршня к затвору. Такая последовательность работы автоматики обеспечивает наиболее эффективное использование имеющейся энергии при минимальной тепловой и силовой нагрузках на детали газоотводного устройства. Регулировка времени включения поршня в работу автоматики обеспечивается величиной его хода.



Фиг. 95. Принципиальная последовательность операций в системе с отводом пороховых газов.

На фиг. 95 показана схема, иллюстрирующая принципы последовательности операций работы газоотводного устройства. Как только снаряд минует газоотводное отверстие, давление в газовом цилиндре быстро возрастает и начинается движение газового поршня назад. Свободный ход поршня от точки A до точки B должен обеспечить (по времени) вылет снаряда из канала ствола и уменьшение до допустимых пределов остаточного давления в патроннике с учетом возможности использования отдачи затвора. Как показано на схеме, при ударе поршня по рычажному замку затвора в точке B происходит принудительное смещение затвора, обеспечивающее предварительную экстракцию, а затем следует окончательное отпирание затвора. После отпирания свободный ход поршня от точки B до точки C обеспечивает по времени отдачу затвора к моменту снижения давления в канале ствола до безопас-

ной для полной экстракции гильзы величины. В этот момент поршень ударяется о затвор, сообщая ему скорость, необходимую для полного отката. Поскольку время движения поршня до момента отпирания определяется его скоростью, очевидно, любой фактор, влияющий на характер изменения скорости поршня по времени, будет непосредственно влиять на правильность его работы.

Скорость поршня может изменяться под влиянием различных причин: характера изменения давления пороховых газов в канале ствола, расположения, размеров и формы газового отверстия, площади поперечного сечения рабочей части поршня, его массы и т. д. Чтобы получить заданный характер движения поршня по времени, необходимо самым тщательным образом учитывать все эти факторы и следить за их стабильностью в период эксплуатации системы. Последовательность операций автоматического цикла в системе с отводом пороховых газов нередко осложняется именно из-за того, что она зависит от очень большого количества факторов. Так как энергия поршня по сути дела контролируется теми же факторами, от которых зависит последовательность операций, иногда бывает трудно улучшить характеристики оружия (в частности темп стрельбы путем незначительных изменений в газовом отверстии и деталях газового устройства. Обычно для этого требуются существенные проектные изменения, а иногда изменения всего проекта.

Проанализировав основные факторы, обеспечивающие оптимальную величину энергии поршня, рассмотрим условия передачи этой энергии от поршня к затвору. Скорость затвора зависит от многих причин. Прежде всего сама система откатывается и ствол отпирается в момент, когда все откатные детали находятся в движении. Хотя иногда считают удобным рассчитывать скорости поршня и затвора относительно деталей ствольного узла, все же следует помнить то, что абсолютная скорость ствольного узла изменяется по времени.

Скорость отката до момента отпирания зависит от общей массы откатывающихся частей и от величины импульса, сообщаемого этим частям при сгорании порохового заряда. Тормозящее действие возвратной пружины ствола настолько мало, что при расчете до момента отпирания им можно пренебречь.

Величина импульса, получаемого при сгорании порохового заряда, определяется характеристиками внутрибаллистического процесса, присущими данной комбинации патрона и ствола. Чем больше мощность патрона и чем длиннее ствол, тем больше этот импульс. Скорость отдачи, зависящая от этого импульса, обратно пропорциональна весу откатывающихся частей, т. е. чем легче откатные части, тем больше их скорость. Следовательно, при мощном патроне, длинном стволе и легких откатывающихся частях скорость отката будет большой.

В связи с этим важно отметить, что скорость и энергия откатывающихся частей играют важную роль при проектировании системы с отводом пороховых газов. Общая тенденция развития современных автоматических пушек заключается в увеличении мощности патрона и темпа

стрельбы и в уменьшении веса системы, что приводит к большой энергии отдачи и значительно усложняет конструктивное решение проблемы обеспечения регулировки движения как самой системы, так и ее подвижных деталей.

В системе с отводом пороховых газов энергия отдачи как таковая не используется и для ее поглощения необходимы мощные буферные и откатные тормозящие устройства. Хотя, соблюдая известную последовательность операций в течение цикла автоматики, можно использовать энергию отдачи для увеличения скорости движения затвора, это преимущество во многом обеспечивается теми трудностями, которые возникают из-за избытка энергии отката в других деталях автоматической системы. Идеальным для автоматической системы с отводом пороховых газов являлось бы состояние полной безоткатности или же отката с очень небольшой скоростью, что позволяет легко справиться с проблемой поглощения излишней энергии отдачи. К сожалению, развитие современного автоматического оружия идет по пути увеличения энергии отдачи, и конструктору современного авиационного оружия приходится считаться не только с энергией газового поршня и отдачи затвора, но и с энергией отдачи всей системы в целом.

После отпирания, перед ударом поршня о затвор, пушка, поршень и затвор откатываются. Поршень, благодаря действию порохового газа, отводимого из канала ствола , и затвор, вследствие отдачи, движутся быстрее пушки. При ударе поршня о затвор скорость первого уменьшается. Факторы, обусловливающие эту потерю скорости, легко установить при рассмотрении следующих выражений для условий удара:

$$M_1 V_1 + M_2 V_2 = M_1 V_1' + M_2 V_2' \qquad (3.3)$$

$$V_2' - V_1' = e\,(V_1 - V_2) \qquad (3.4)$$

где M_1; M_2 — масса поршня и затвора;

V_1; V_2 — скорость поршня и затвора до удара;

V_1'; V_2' — скорость поршня и затвора после удара.

Уравнение (3.3) получено при допущении, что влиянием усилий пружин, сил трения и других сил, действующих во время удара, можно пренебречь ввиду их малости по сравнению с силой самого удара. Поэтому суммарный импульс удара равен нулю, а общее количество движения системы остается без изменения. Уравнение (3.4) показывает, что относительная скорость тел после удара прямо пропорциональна их относительной скорости до удара. Коэффициентом пропорциональности в данном случае является коэффициент востановления e, значение которого зависит от материала (для стали он равен .55).

Решая уравнение (3.4) относительно V_1', получаем

$$V_1' = V_2' - e\,(V_1 - V_2) \qquad (3.4')$$

Подставляя результаты решения в уравнение (3.3), имеем

$$M_1 V_1 + M_2 V_2 = M_1 \left[V_2' - e\,(V_1 - V_2) \right] + M_2 V_2'$$

Решая его относительно V_2', получаем

$$V_2' = \frac{M_1 V_1 + M_2 V_2 + e\,(V_1 - V_2) M_1}{M_1 + M_2} \qquad (3.5)$$

Уравнения (3.5) и (3.4′) могут быть записаны следующим образом:

$$V_2' = V_2 + (V_1 - V_2)\,\frac{1 + e}{1 + \frac{M_2}{M_1}} \qquad (3.6)$$

$$V_1' = V_1 - (V_1 - V_2)\,\frac{1 + e}{1 + \frac{M_1}{M_2}}$$

Если V_2 равно нулю или очень мало по сравнению с V_1, то уравнение (3.5) принимает вид:

$$V_2' = V_1\,\frac{1 + e}{1 + \frac{M_2}{M_1}} \qquad (3.7)$$

Если рассматривать уравнение (3.7) отдельно, то можно ошибочно заключить, что для получения большой скорости затвора масса поршня M_1 должна быть больше массы затвора M_2 или, что конечная скорость затвора зависит только от соотношения между массами этих деталей. На самом деле следует помнить, что скорость, сообщаемая поршню давлением пороховых газов, обратно пропорциональна массе поршня. Это следует учесть, заменяя V_1 в уравнении (3.7) его значением через $\frac{I}{M_1}$

где I — импульс пороховых газов, действующих на поршень.

Правильнее сделать эту подстановку в уравнении (3.6), что дает

$$V_2' = \frac{I\,(1 + e)}{M_1 + M_2} + \frac{V_2}{1 + \frac{M_1}{M_2}} - \frac{e\,V_2}{1 + \frac{M_2}{M_1}} \qquad (3.8)$$

Отсюда видно, что для получения большей скорости затвора при данном импульсе поршня и масса поршня, и масса затвора должны быть минимальными. Кроме того, два последних члена равенства показыва-

ют, что в конечном итоге выгоднее, чтобы вес затвора был несколько больше, чем вес поршня. Таким образом, мы пришли к выводу, обратному тому, который можно было сделать на основании рассмотрения формулы (3.7) вне ее связи с условиями работы.

Проиллюстрируем условия передачи энергии в рассматриваемой системе следующим примером. Пусть $W_1 = 1{,}5$ фунт (680 *г*), $W_2 = 5$ фунт (2,26 *кг*), $V_1 = 80$ фут/сек (24 *м/сек*), $V_2 = 20$ фут/сек (6 *м/сек*), e = .55 (для стали).

Подставив числовые значения величин в уравнение (3.6), получим

$$V_2' = V_2 + (V_1 - V_2)\frac{1+e}{1+\frac{M_2}{M_1}} = 20 + (80 - 20)\frac{1+.55}{1+\frac{5}{1.5}} =$$

$$= 41.4 \text{ фут/сек } (12{,}4 \text{ м/сек})$$

$$V_1' = V_1 - (V_1 - V_2)\frac{1+e}{1+\frac{M_1}{M_2}} = 80 - (80 - 20)\frac{1+.55}{1+\frac{1.5}{5}} =$$

$$= 8.4 \text{ фут/сек } (2{,}5 \text{ м/сек})$$

Таким образом, при данных условиях удар между поршнем и затвором увеличивает скорость затвора с 20 до 41.4 фут/сек и уменьшает скорость поршня с 80 до 8.4 фут/сек.

Желательно рассмотреть результаты действия удара на изменение энергии затвора и поршня. Кинетическая энергия, потерянная поршнем,

$$E = \frac{1}{2} M_1\left(V_1^2 - V_1'^2\right) = \frac{1}{2}\,\frac{1.5}{32.2}\,(80^2 - 8.4^2) =$$

$$= 147.4 \text{ фунт.фут } (19{,}7 \text{ кг.м})$$

Кинетическая энергия, приобретенная затвором,

$$E = \frac{1}{2} M_2\left(V_2'^2 - V_2^2\right) = \frac{1}{2}\,\frac{5}{32.2}\,(41.4^2 - 20^2) =$$

$$= 102 \text{ фунт-фут } (13{,}6 \text{ кг.м})$$

Уменьшение энергии поршня больше, чем увеличение энергии затвора на 45.4 фунт.фут (6,0 *кг.м*). Эти 45.4 фунт.фут теряются при ударе, переходя в тепловую энергию. Оставшаяся энергия у поршня

$$E = \frac{1}{2} M_1 V_1'^2 = \frac{1}{2}\,\frac{1.5}{32.2}\cdot 8.4^2 = 1.64 \text{ фунт.фут } (0{,}22 \text{ кг м})$$

Эта энергия также теряется, не будучи использована на какую-либо полезную работу. Первоначальная кинетическая энергия поршня

$$E = \frac{1}{2} M_1 V_1^2 = \frac{1}{2}\,\frac{1.5}{32.2}\cdot 80^2 = 149.1 \text{ фунт.фут } (19{,}9 \text{ кг.м})$$

Поскольку 102.0 фунт.фут энергии передаются затвору, коэффициент передачи энергии поршня

$$\frac{102}{149.1}\cdot 100 = 68{,}4\,\%.$$

Приведенный анализ, предназначенный для иллюстрации влияния различных факторов на передачу энергии от поршня к затвору, был сделан при допущении, что начальные скорости, а также массы затвора и поршня известны. При реальном проектировании задача решается несколько иначе. Обычно вес затвора определяют в процессе предварительного проектирования, его начальную скорость устанавливают, исходя из наиболее полного использования импульса отдачи после отпирания, а скорость после удара выбирают в соответствии с заданным темпом стрельбы. Таким образом, задача состоит в определении массы поршня и его скорости, необходимой для получения требуемой скорости затвора. Полученные при соответствующем расчете величины могут быть использованы для проектирования газоотводного устройства. Последовательность расчета показана на примере.

Берем следующие данные:

Вес затвора W_2, фунт	5
Начальная скорость затвора V_2, фут/сек	30
Требуемая окончательная скорость затвора V_2', фут/сек	60
Коэффициент восстановления	.55

Воспользуемся соотношением

$$V_2' - V_1' = e\,(V_1 - V_2) \tag{3.9}$$

Решая уравнение (3.9) относительно V_1', имеем

$$V_1' = \left(V_2' + e\,V_2\right) - e\,V_1 \tag{3.10}$$

Учитывая, что

$$W_1 V_1 = W_1 V_1' + W_2 V_2' - W_2 V_2 \tag{3.11}$$

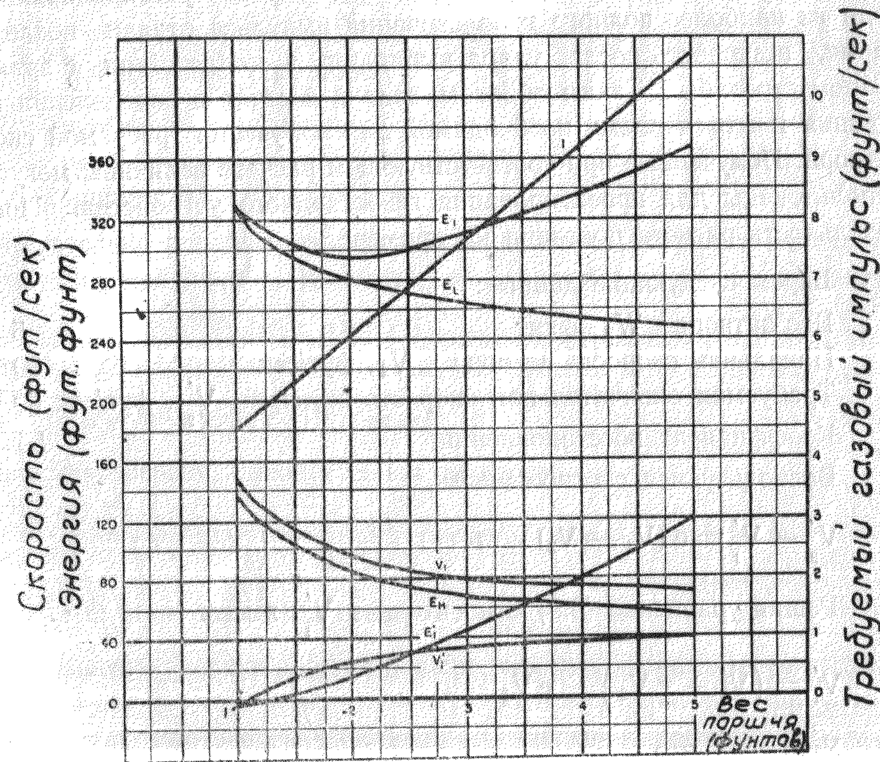
и заменяя значение V'_1 его выражением из зависимости (3.10), получаем

$$V_1 = \frac{(V'_2 - V_2)}{1+e}\,\frac{W_2}{W_1} + \frac{V'_2 + e\,V_2}{1+e} \qquad (3.12)$$

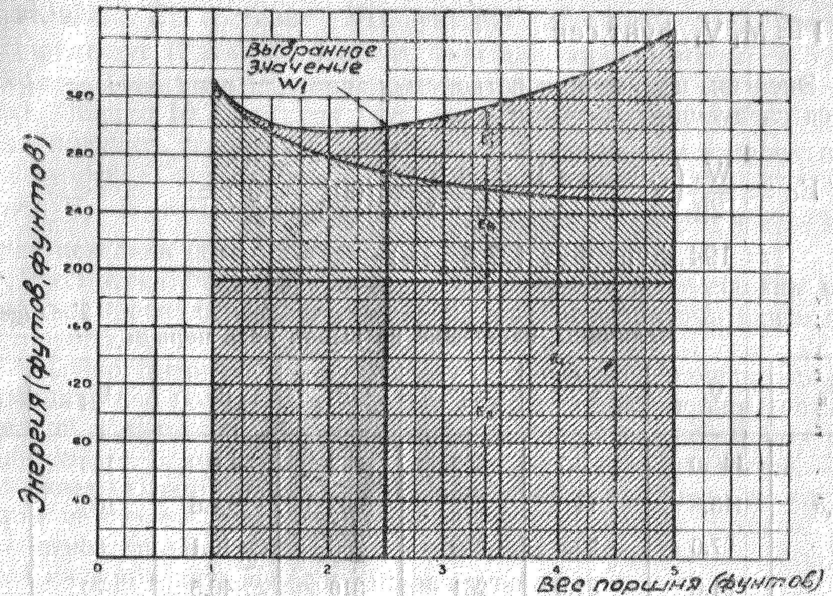
Решая это уравнение для условий нашего примера, имеем

$$V_1 = \frac{60-30}{1+.55}\cdot\frac{5}{W_1} + \frac{60+.55\cdot 30}{1+1.55} = \frac{96.7}{W_1} + 49.3 \text{ фут/сек}$$

Таким образом, мы получаем уравнение, выражающее необходимое соотношение между начальной скоростью поршня V_1 и его весом W_1. Это уравнение может быть удовлетворено бесчисленным числом пар значений для V_1 и W_1. Задача состоит в том, чтобы правильно выбрать решение, удовлетворяющее требованиям газоотводного устройства. Для облегчения этой задачи, рекомендуется составить таблицу значений V_1 и W_1, одновременно выписывая связанные с ними величины, которые



Фиг. 96. Графическое изображение влияния факторов, обусловливающих выбор веса и скорости поршня.



Фиг. 97. Распределение энергии при различном весе поршня.

могут повлиять на конструкцию газоотводного устройства. (Табл. 2 и фиг. 96 и 97). Величины, приведенные в таблице и на графиках, получены по следующим формулам:

скорость поршня после удара:

$$V'_1 = 76.5 - .55\,V_1 \text{ фут/сек}$$

потеря энергии поршня после удара:

$$E_L = \frac{W_1}{2g}\left(V_1^2 - V_1'^2\right) \text{ фунт.фут}$$

начальная энергия поршня:

$$E_I = \frac{W_1}{2g}\,V_1^2 \text{ фунт.фут}$$

остаточная энергия поршня:

$$E'_1 = \frac{W_1}{2g}\,V_1'^2$$

потеря энергии при ударе на нагрев ударяющихся масс:

$E_H = E_L - E_G$ (величина E_G воспринята затвором);

требуемый газовый импульс:

$I = M_1 V_1$ фунт.сек

Энергия, полученная затвором, равна для всех случаев и определяется следующим образом:

$$E_G = \frac{W_2}{2g}\left(V_1'^2 - V_2^2\right) = \frac{5}{2 \cdot 32.2}(60^2 - 30^2) =$$

$$= 194 \text{ фунт.фут } (27,5 \text{ кгм})$$

Таблица 2

Величины, влияющие на выбор веса поршня

W_1	V_1	V_1'	E_L	E_1	E_1'	E_H	I
1	146.0	— 3.7	332	332	— 0.2	138	4.53
1,5	113.8	14	297	302	4.6	103	5.29
2	97.6	22.8	280	296	16.1	86	6.06
3	81.6	31.6	264	310	46.5	70	7.60
4	73.5	36.1	254	335	81	60	9.13
5	68.7	39.0	249	367	118.1	55	10.68

Рассматривая табл. 2 и фиг. 96 и 97, нужно обратить особое внимание на следующие величины: энергию E_L, потерянную поршнем при ударе, энергию E_1', остающуюся у поршня после удара, и импульс I, который нужно получить от давления пороховых газов. Особенное значение имеет величина E_L, так как именно она определяет силу удара. При данных условиях удар неизбежно будет очень сильным, так как затвору необходимо передать энергию, равную 194 фунт.фут (27,5 *кг.м*). Общая энергия удара должна быть еще больше, так как неизбежны потери на нагрев.

Судя по графику (фиг. 97), значение E_L, представляющее собой сумму энергии, переданной затвору (E_G) и потерянной энергии (E_H), по мере уменьшения веса тела сначала увеличивается сравнительно медленно, но затем, когда W_1 становится меньше 1.5 фунт. (680 *г*), начинает быстро расти. Казалось бы, что в связи с этим вес поршня должен быть значительно увеличен. Однако, с другой стороны, по мере увеличения веса поршня его энергия E_1' после удара становится слишком большой. Важно также отметить, что импульс пороховых газов резко увеличивается с ростом веса поршня, и поэтому вес поршня должен быть по возможности небольшим. При столь противоречивых выводах следует принять вес поршня равным примерно 2.5 фунт (1,13 *кг*). При

этом величина E_L составит 270 фунт.фут (37 *кг.м*), т. е. будет лишь на 20 фунт.фут (2,2 *кг.м*) больше, чем для поршня весом в 5 фунтов (2,26 *кг*). Требуемый газовый импульс будет равен 6.8 фунт.сек (3,1 *кг.сек*), (вместо 10.7 фунт.сек (4,85 *кг.сек*) для поршня весом 5 фунтов), причем получить такой импульс значительно легче, чем импульс порядка 10.7 фунт.сек. Следует также обратить внимание на то, что скорость поршня V_1' и его энергия E_1' после удара сравнительно невелики так же, как невелики потери энергии на нагрев.

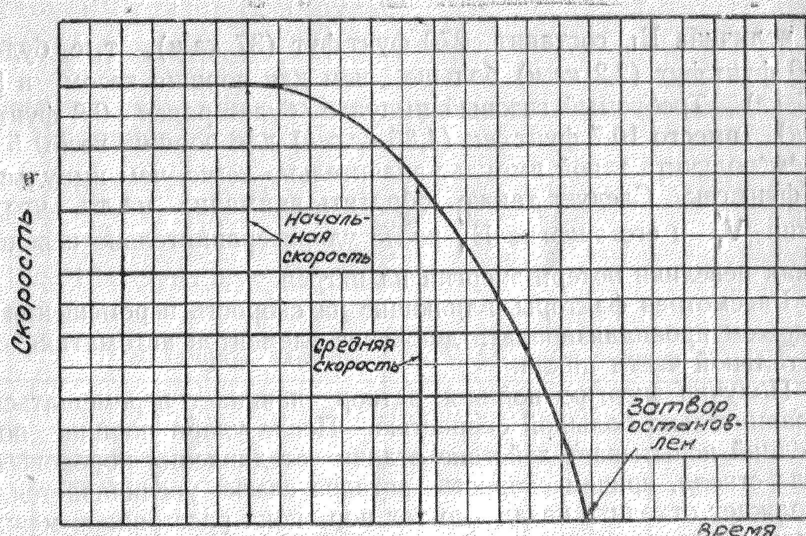
Рассмотрев факторы, влияющие на скорость перемещения затвора, мы можем проанализировать движение элементов автоматики в процессе остальной части цикла.

Получив энергию поршня, затвор начинает перемещаться назад со сравнительно большой скоростью. После удара поршня по затвору последний испытывает действие отдачи от давления пороховых газов в канале ствола, причем скорость затвора слегка увеличивается. Затвор продолжает отходить назад до тех пор, пока расстояние между ним и стволом не станет достаточным для подачи очередного патрона. После этого затвор начинает двигаться в обратном направлении, досылая очередной патрон в патронник и запирая ствол.

В некоторых системах накат затвора осуществляется исключительно за счет относительно мощной возвратной пружины, сжимаемой затвором при откате. Возвратная пружина поглощает при этом всю кинетическую энергию затвора и останавливает его в тот момент, когда расстояние между затвором и стволом оказывается достаточным для подачи очередного патрона. Затем пружина возвращает затвор в исходное положение. Такая конструкция обладает тем недостатком, что не позволяет получить высокого темпа стрельбы. Так как возвратная пружина останавливает затвор постепенно, его скорость плавно изменяется от максимума в начале отката до нуля в конце (фиг. 98). Отсюда следует, что средняя скорость затвора немногим больше половины максимальной скорости. Иными словами, если такое устройство использовать в системе с отводом пороховых газов, то, несмотря на повышение скорости затвора в начале цикла, общее движение затвора при полном цикле автоматики будет совершаться с небольшой средней скоростью.

Для того чтобы устранить этот недостаток, возвратная пружина затвора выполняется слабой, что обеспечивает минимальное торможение при откате. В этом случае основным назначением возвратной пружины является обеспечение надежного запирания затвора в крайнем переднем положении. Останов же затвора в конце отката и изменение направления его движения осуществляются при помощи буфера затыльника. Это устройство представляет собой жесткую пружину, которая поглощает всю кинетическую энергию затвора на очень малом пути, а затем возвращает ее обратно в начале наката. Действие буфера затыльника при ударе затвора можно уподобить явлению упругого удара.

Для получения высокого темпа стрельбы важно, чтобы скорость наката затвора была достаточно высокой. Если бы перемена направле-



Фиг. 98. Изменение скорости затвора по времени при условии, что возвратная пружина поглощает всю энергию затвора.

ния движения затвора не сопровождалась потерями энергии, то скорости наката и отката затвора были бы равны, что явилось бы идеальным условием. Однако практически коэффициенты восстановления затвора и буфера затыльника обычно значительно меньше единицы и в лучшем случае равны .6-.7. Поэтому скорость отхода затвора от буфера на 30-40% меньше скорости его удара о буфер. Такое уменьшение скорости затвора считается вполне приемлемым, но если из-за неудачной конструкции буфера и затыльника коэффициент восстановления еще меньше, скорость наката затвора может резко упасть, и темп стрельбы сильно снизится. В связи с этим следует подчеркнуть, что основное назначение затыльника — это изменение направления движения затвора с минимальной потерей энергии. Во многих случаях под термином *буфер* понимают устройство, служащее для максимального поглощения и рассеивания энергии удара, а не сохранения ее для наката затвора. Поэтому было бы правильнее именовать буфер скорострельной системы ***устройством для отскока затвора.***

Условия отскока затвора от буфера затыльника в системе с отводом пороховых газов имеют исключительно важное значение и при проектировании им следует уделить максимум внимания. Учитывая, что само оружие откатывается, нужно по возможности точно установить характер движения частей автоматики по времени. Необходимость точного учета времени и пути движения объясняется тем, что буфер затыльника установлен на самом оружии и, следовательно, откатывается вместе с пушкой. Так как положение затыльника не постоянно, мы можем встретиться с несколькими различными условиями относительного переме-

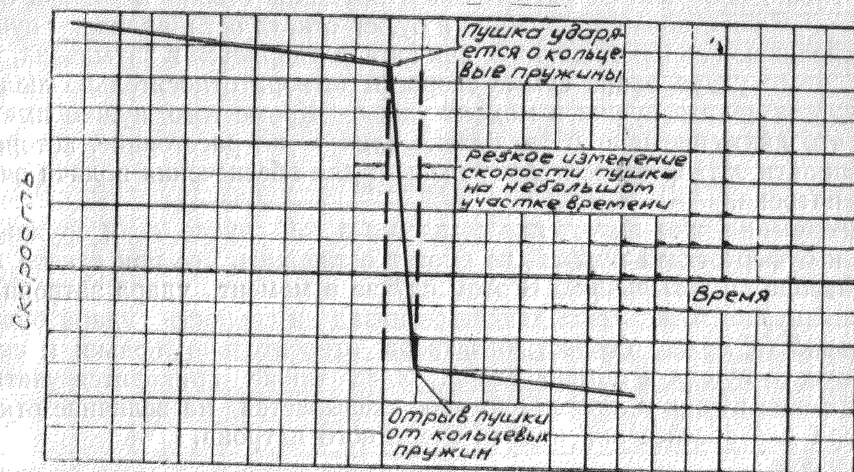
щения и удара в зависимости от того, насколько правильно учитывалось при проектировании перемещение деталей автоматики пушки по времени. Это в первую очередь зависит от движения пушки на ее люльке и, следовательно, контролируется действием пружины ствола и буфера отката пушки. Если ствольная пружина и буфер отката останавливают пушку и обеспечивают ее накат до того, как затвор ударяется в затыльник, то скорость этого удара равна сумме скорости затвора относительно люльки и скорости наката пушки в момент удара. Кроме того, нужно иметь в виду, что движение пушки в люльке влияет на расстояние, которое должен пройти затвор относительно люльки для обеспечения подачи очередного патрона.

Совершенно иное положение создастся в том случае, если пружина ствола и буфер отката пушки не смогут остановить ее при откате до удара затвора в затыльник. В этом случае в момент удара затвора в затыльник пушка будет еще двигаться назад и скорость удара будет равна разности между скоростью затвора относительно люльки и скоростью отката пушки в момент удара. Здесь также приходится учитывать движение пушки в люльке, которое сказывается на величине отката затвора для обеспечения подачи очередного патрона.

Все сказанное не вызывало бы особых беспокойств при проектировании и отладке системы, если бы условия движения оставались стабильными от выстрела к выстрелу. Однако в действительности некоторые изменения в движении отката неизбежны, и поэтому относительная скорость удара затвора о затыльник не может оставаться постоянной, а положение деталей в момент удара также может изменяться. В скорострельном оружии каждый предыдущий цикл автоматики влияет на последующий, и при указанных выше условиях каждое изменение в характере движения может привести к еще большим изменениям. При таком рассогласовании движения внутри системы и движения системы относительно неподвижной установки происходит так называемая ***раскачка системы,*** последствием которой является неравномерный темп стрельбы, а иногда нарушение работы автоматики. При этом детали подвергаются сильным ударам, в результате чего их живучесть может быть снижена.

Во избежание нарушений в работе автоматики из-за изменения параметров отката пушки, следовало бы установить такую очередность операций, при которой затвор ударялся бы о буфер в тот момент, когда изменяется направление движения пушки, т. е. она неподвижна и находится в совершенно определенном положении. При этом изменения, о которых только что шла речь, не имели бы столь серьезного значения. К сожалению, при использовании штатного буфера отката пушки, состоящего из обычных кольцевых пружин, такая последовательность операций может вызвать еще худшие последствия. Буфер из кольцевых пружин быстро снижает скорость системы до нуля, после чего сжатая буферная пружина отбрасывает пушку вперед, хотя и с меньшей скоростью, так как такой буфер поглощает без восстановления значительную часть кинетической энергии отдачи пушки.

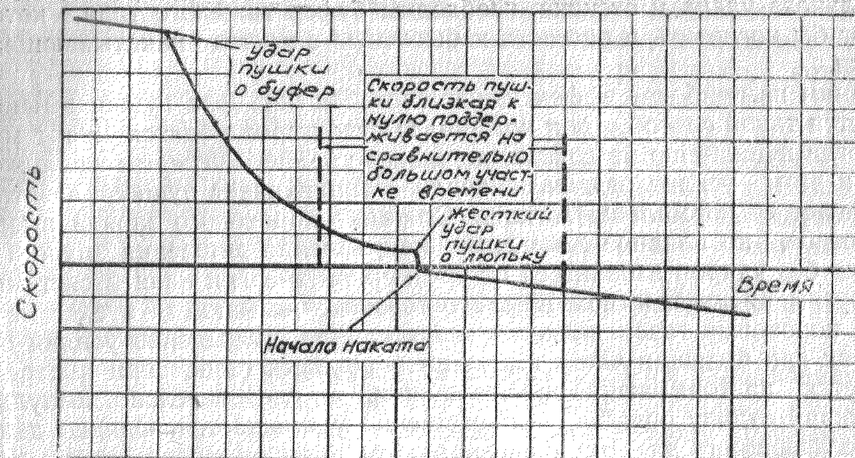
На фиг. 99 графически показано изменение скорости пушки по времени за период работы буфера. Необходимо обратить внимание на то, что как при подходе к нулевому значению, так и при отходе от него



Фиг. 99. Изменение скорости отката пушки по времени при наличии кольцевого пружинного буфера.

скорость пушки изменяется очень быстро. Кривая показывает, что даже очень небольшое изменение времени удара затвора о буфер может оказать значительное влияние на относительную скорость удара. Очевидно, что при ударе затвора о буфер в период работы кольцевого буфера отката пушки нарушение работы автоматики может быть еще более значительным.

Этого можно избежать, изменив характеристики буфера. Основная трудность отработки системы с кольцевым буфером заключается в том, что он имеет своеобразную форму снижения скорости пушки по времени (фиг. 99). Если буфер имеет большие ход и время поджатия, в известной степени можно устранить указанные трудности отработки, так как изменение скорости по времени не будет столь скоротечным. Однако самые лучшие результаты можно получить с буфером, имеющим характеристику скорости по времени, изображенную на фиг. 100. Можно создать такой буфер, используя гидравлическое устройство, в котором сопротивление пропорционально скорости отката пушки. Пологий наклон кривой (фиг. 100) в точке, близкой к нулевой скорости, с небольшой ступенью объясняется тем, что действие буфера заканчивается жестким ударом. Следует обратить внимание на то, что на значительном участке графика (до и после нулевой скорости) скорость перемещения пушки близка к нулю и изменяется очень медленно. Именно поэтому момент удара затвора о буфер затыльника практически не влияет на величину



Фиг. 100. Изменение скорости поджатия по времени для буфера отката пушки, наиболее удовлетворяющее стабильности работы автоматики пушки.

относительной скорости удара. Применение этого буфера обеспечивает останов пушки, а следовательно, и ее затыльника при каждом выстреле в одной и той же точке и стабильную скорость пушки, близкую к нулю в соответствующий период времени. Практически наличие такого буфера эквивалентно неподвижному положению пушки при выстреле, что дает возможность всегда контролировать условия удара затвора о буфер затыльника.

Последним моментом, который необходимо проанализировать, является накат подвижных частей пушки. После того, как затвор отскочил от затыльника, начинается накат пушки и ее подвижных частей, причем пушка накатывается под действием ствольной пружины, а подвижные части — под действием возвратной пружины затвора. Во время наката пушка и ее подвижные части приобретают достаточно высокие скорости и, следовательно, к концу наката обладают значительной кинетической энергией. Если эта энергия не будет должным образом израсходована или рассеяна, то накат пушки и ее подвижных частей будет сопровождаться сильными ударами, вызывающими резкие колебания системы и нарушающими нормальную работу автоматики. Для уменьшения удара затвора по пеньку ствола необходимо предусмотреть возможность присоединения затвора к стволу и запирание затвора до конца наката пушки. При наличии такого устройства относительная скорость удара будет ниже, чем в случае удара затвора о неподвижную пушку.

Последней задачей является останов пушки, накатывающейся вместе с запертым затвором, и поглощение ее кинетической энергии. Поскольку эта энергия достаточно велика, возможность жесткого останова пушки с ударом о неподвижную люльку исключается. Чтобы избе-

жать сильного удара и отскока, необходим буфер тяжелого типа, который смог бы поглотить и рассеять избыточную энергию накатывающейся пушки.

Одним из наиболее эффективных способов останова пушки в накате является такой способ, при котором выстрел производится в тот момент, когда пушка еще не дошла до своего крайнего переднего положения. При этом усилие отдачи сначала останавливает пушку, а затем обеспечивает ее нормальный откат. Сгорание порохового заряда вызывает быстрое, но плавное изменение направления движения пушки и позволяет без ударов избавиться от чрезмерной энергии наката системы.

Другим преимуществом газового торможения наката в системе с отводом пороховых газов является значительное уменьшение усилия отката, так как большая часть импульса пороховых газов при выстреле расходуется на торможение наката пушки, и, следовательно, импульс, вызывающий отдачу оружия, соответственно уменьшается. Однако даже при использовании для торможения наката пушки энергии пороховых газов применение буферных устройств обычного типа, особенно на системах крупного калибра, не исключается уже потому, что необходимо уберечь детали пушки от ударов в случае осечки или неразбития очередного патрона.

Математический анализ системы

Большинство задач, встречающихся при конструировании автоматического оружия, основанного на принципе отвода пороховых газов, может быть с успехом решено путем использования тех же методов расчета, которые применялись при анализе других систем. Однако в процессе исследования системы с отводом пороховых газов возникает одна задача, которая не может быть решена с помощью этих методов. Это — анализ истечения пороховых газов и определение давления пороховых газов, действующих на поршень или иное тело, передающее импульс пороховых газов исполнительному механизму.

Было бы чрезвычайно желательно определить расчетным путем размеры и форму газового отверстия или заранее установить, как будет влиять форма газопровода, ведущего от канала ствола к газовому цилиндру, на изменение давления в газовом цилиндре по времени. К сожалению, точного аналитического решения этой задачи или задач подобного типа нет, так как определение характеристик турбулентного высокоскоростного потока пороховых газов весьма сложно*.

В инженерной практике можно использовать приближенный метод расчета давления в газовой камере, так как он весьма прост и в то же время достаточно точен.

*Методика расчета газовых устройств (точный и приближенный методы расчета), изложенная в книге М. А. Мамонтова. «Некоторые случаи течения газа», позволяет определить закон изменения давления в газовой камере в зависимости от конструктивных параметров двигателя и положения газового отверстия по длине ствола. (Прим. ред.).

Делая некоторые допущения и используя отдельные эмпирические зависимости, можно спроектировать систему, достаточно надежную и обладающую известными конструктивными резервами, которые позволяют довести оружие до высокой степени совершенства путем доработки в процессе опытных стрельб. При таком методе, если им умело пользоваться, конструктор не будет идти вслепую. В процессе анализа конструкции импульс, получаемый от газоотводного устройства, и изменение этого импульса по времени могут быть точно рассчитаны и при соответствующем конструктивном оформлении можно обеспечить требуемые характеристики системы.

Ниже приводится принцип подхода к конструктивному анализу системы с отводом пороховых газов.

Предположим, что оружие, в частности 20-*мм* авиационная пушка, устанавливается подвижно на люльке и имеет обычный газовый поршень, передающий энергию пороховых газов затвору простым контактом. Требуемый темп стрельбы пушки возьмем равным 1200 ***выстр/мин.*** Для иллюстрации такой конструктивной компановки, при которой энергия пороховых газов используется для частичного поглощения энергии наката пушки, допустим, что выстрел происходит незадолго до прихода пушки в крайнее переднее положение.

Очевидно, что такая методика не может быть полностью применена для других систем с отводом пороховых газов, но с иной конструктивной схемой. Тем не менее, поскольку принцип работы систем с отводом пороховых газов одинаков для любого оружия газоотводного типа, данный пример может быть иллюстрацией типового расчета.

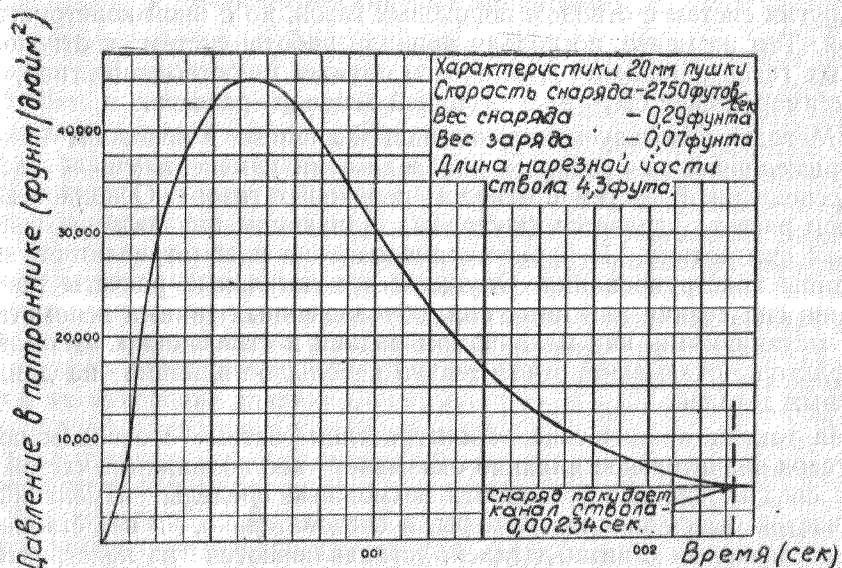
Методы, используемые в настоящем анализе, в основном аналогичны применявшимся ранее (с необходимыми изменениями, обусловленными спецификой систем с отводом пороховых газов). Основное внимание при расчете уделяется факторам, влияющим на движение главных деталей автоматики. В процессе анализа не рассматриваются общие принципы конструирования. Опущены все детальные расчеты по определению сил трения или иных сил, обусловленных такими вспомогательными механизмами, как механизмом подачи и стреляющим механизмом. Эти факторы оказывают относительно небольшое влияние на движение основных деталей.

На тактико-технические характеристики систем с отводом пороховых газов значительное влияние оказывает вес подвижных частей. Поэтому следует заранее установить возможные пределы изменений веса этих частей. Как правило, размеры, а следовательно, и вес ствола, затвора и связанных с ними деталей, устанавливаются из конструктивных соображений при определении общей схемы проектируемого оружия, а также из условий прочности, жесткости и живучести конструкции, заданных ТТТ. Поэтому при проектировании в первую очередь нужно разработать ствол такой конструкции, чтобы он мог выдержать давление пороховых газов, характерное для патронов принятого типа, и лишь после этого можно приступить к эскизному проектированию системы. При составлении эскизного проекта опыт и талант конструктора позволяют соз-

дать конструкцию с практически приемлемыми формами и довести ее до такого состояния, когда целесообразно определить вес и перемещения основных деталей, обеспечивающих функционирование системы в целом. На основании этих данных можно приступить к предварительному анализу конструкции и примерному определению действующих сил. Найденные значения этих сил могут быть учтены при расчетах прочности деталей. Зная силы, действующие в системе, можно уточнить конструкцию и облегчит вес деталей, особенно таких, как затвор и поршень газоотводной системы, вес которых является одним из существенных факторов, обусловливающих тактико-технические характеристики оружия (в особенности темп стрельбы).

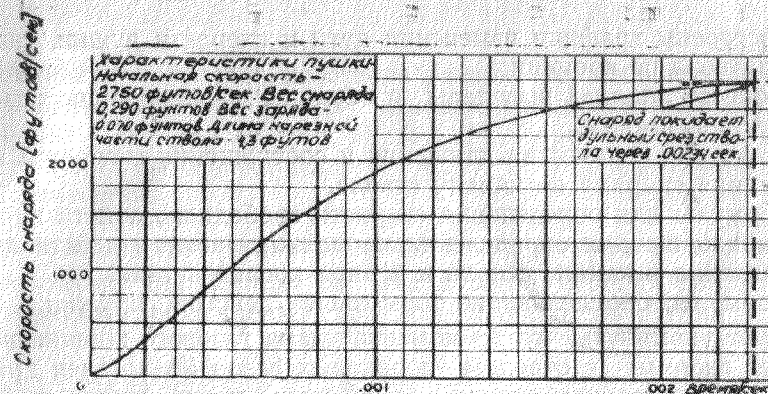
Приводимый ниже анализ основан на допущении, что для проектирования системы используется патрон, характеристики которого известны, и что начальная скорость снаряда и длина ствола заранее установлены. Допускается также, что известны все внутрибаллистические характеристики и имеются графики изменения давления пороховых газов, скорости снаряда и пути снаряда в канале ствола по времени (фиг. 101, 102, 103)*.

Общая методика расчета применима для систем с отводом пороховых газов любого калибра.

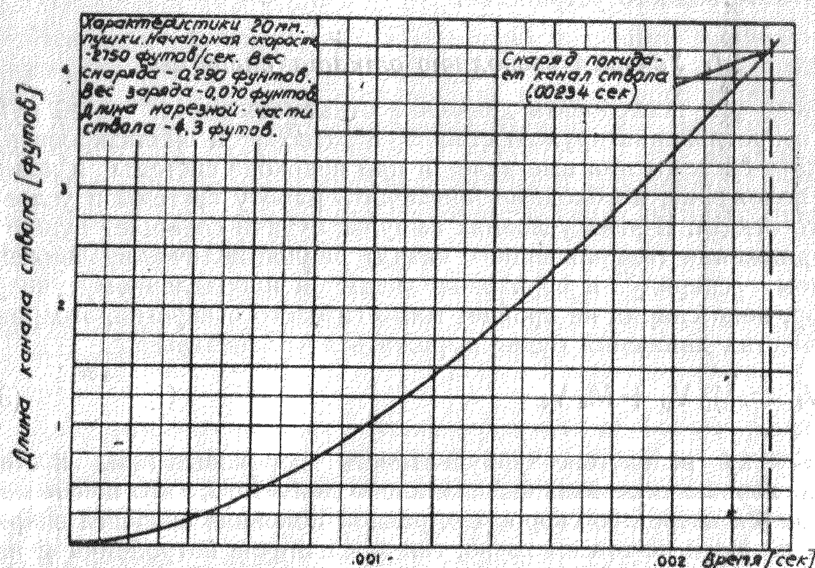


Фиг. 101. График давления пороховых газов в канале ствола по времени для 20-мм пушки.

*Иногда перечисленные данные отсутствуют. Аналитические методы определения этих данных и графиков для предварительного расчета системы могут быть взяты из руководства по внутренней баллистике.



Фиг. 102. График скорости снаряда по времени для 20-мм пушки.



Фиг. 103. График пути снаряда в канале ствола по времени для 20-мм пушки.

В анализе рассмотрены следующие вопросы:

1. Определены условия свободного отката системы.
2. Определено оптимальное время отпирания системы.
3. Проведен расчет, необходимый для проектирования газоотводного устройства.
4. Определены данные, необходимые для назначения последовательности движения поршня.
5. Выбраны характеристики пружин ствола и затвора и характеристики упругих элементов буфера затыльника и буферов, связанных с движением всей системы.

6. Построены графики изменения пути и скорости пушки, газового поршня и затвора по времени.

В процессе анализа выведены и объяснены следующие основные формулы и зависимости:

1. Уравнение количества движения и соотношения скоростей в процессе движения снаряда по каналу ствола.
2. Формулы для определения скорости свободного отката пушки.
3. Выражение для определения продолжительности действия остаточного давления в канале ствола в период последействия.
4. Формулы, определяющие тормозящее действие пружин.

Следует упомянуть, что до момента удара газового поршня по затвору расчет системы с отводом пороховых газов аналогичен расчету системы с использованием отдачи при коротком откате ствола до начала работы ускорителя. Разумеется, есть и некоторые различия, вызываемые влиянием газоотводного устройства.

1. Условия свободного отката системы

Прежде чем исследовать движение откатывающихся частей пушки с учетом сопротивления пружин ствола и затвора и анализировать условия отката системы при выстреле и при недоходе системы в крайнее переднее положение, необходимо проследить работу системы в условиях свободного отката. В этих условиях импульс отдачи сообщает пушке количество движения (направленного назад) равное количеству движения, сообщаемому снаряду и пороховым газам и направленному вперед. До тех пор, пока снаряд не пройдет мимо газового отверстия, это равенство количества движений будет выражаться уравнением

$$M_r V_{r_f} = M_p V_p + M_c V_c \qquad (3.13)$$

Поскольку вследствие турбулентности пороховые газы в стволе достаточно хорошо перемешаны, правильно допустить, что центр массы газов движется вперед со скоростью, равной половине скорости снаряда. На самом деле это не совсем точно, так как наличие патронника и нарезов, кончающихся на пульном входе, нарушает единообразие распределения объема газов по всей длине ствола. Однако для условий настоящего расчета это допущение может быть принято. Поэтому уравнение (3.13) может быть записано в следующем виде:

$$M_r v_{r_f} = M_p v_p + M_c \frac{v_p}{2} = \left(M_p + \frac{M_c}{2}\right) v_p \qquad (3.14)$$

Необходимо обратить внимание на то, что полученное равенство (3.14) не нарушается внутренними силами трения, тормозящими движение снаряда и пороховых газов, или силой врезания полей нарезов в ведущий поясок снаряда. Хотя все эти силы действительно тормозят поступательное движение снаряда и пороховых газов, тем не менее они

обусловливают появление на стволе равной по величине и направленной в противоположную сторону реакции, вызывающей торможение отката пушки. Иными словами, внутренние сопротивления только уменьшают импульс, вызывающий движение, но не нарушают равенство количества движения.

Решая уравнение (3.14) относительно v_{r_f}, получаем скорость свободного отката для периода от начала воспламенения порохового заряда до момента прохождения снарядом газового отверстия.

$$v_{r_f} = \frac{M_p + \frac{M_c}{2}}{M_r} v_p = \frac{W_p + \frac{W_c}{2}}{W_r} v_p \qquad (3.15)$$

Используя уравнение (3.15), можно построить график изменения скорости свободного отката по времени до того момента, когда снаряд минует газовое отверстие. Вес снаряда и порохового заряда нам известен. Допустим, что вес откатывающихся частей уже установлен по предварительному проекту. Скорость снаряда известна из графика (фиг. 102). Поэтому ординаты графика скорости свободного отката могут быть найдены путем умножения соответствующих ординат графика скорости снаряда на величину

$$\frac{W_p + \frac{W_c}{2}}{W_r}$$

Допустим, что в 20-*мм* пушке вес откатных частей равен 60 фунт (27,2 *кг*), а вес снаряда и порохового заряда известен из данных, приведенных на фиг. 99. Тогда указанная величина

$$\frac{W_p + \frac{W_c}{2}}{W_r} = \frac{.29 + \frac{.070}{2}}{60} = .00542$$

Следовательно, в тот момент, когда снаряд проходит мимо газового отверстия, скорость свободного отката подвижных частей

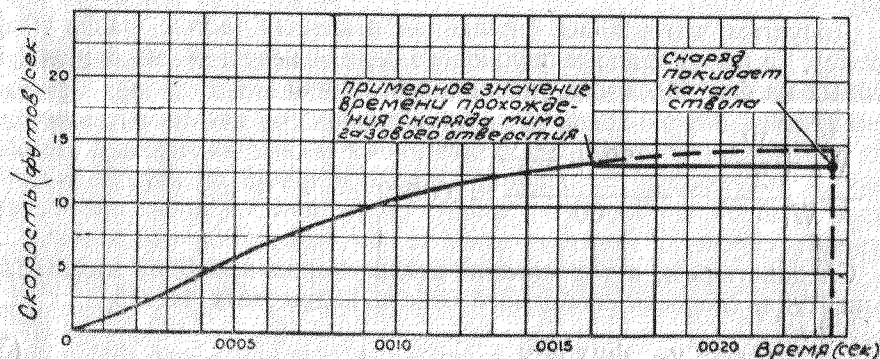
$$v_{r_f} = .00542\ v_p \ \text{фут/сек} \qquad (3.16)$$

где v_p — скорость снаряда в момент прохождения им газового отверстия.

При отсутствии газового отверстия, это уравнение было бы справедливо до момента вылета снаряда из канала ствола. В действительности же по прохождении снарядом газового отверстия в газовом цилиндре возникает давление. Это давление действует одновременно назад, на газовый поршень, и вперед, на переднюю стенку газового ци-

линдра. Поскольку в этот момент поршень не оказывает сколько-нибудь заметного воздействия на пушку, давление на поршень, направленное назад, совершенно не действует на массу откатывающихся частей. С другой стороны, давление на переднюю стенку цилиндра, направленное вперед, передается непосредственно на пушку и противостоит усилию отдачи. Иными словами, как только снаряд минует газовое отверстие, давление в газовом цилиндре вызывает тормозящий пушку импульс, равный импульсу, переданному поршню.

Действительная величина этого импульса и характер его изменения по времени зависят от конструкции газового цилиндра и от положения газового отверстия. На данном этапе проектирования эти характеристики еще не известны. Поэтому необходимо сделать их предварительную оценку, а при дальнейшем расчете уточнить в случае необходимости. Опыт отработки оружия этого калибра показывает, что импульс, который должен быть приложен к поршню, изменяется по времени примерно так, как показано на фиг. 92. Допустим, что эта кривая справедлива для исследуемой системы. Тогда график свободного отката системы для периода от момента прохождения снарядом газового отверстия до момента его вылета из канала ствола можно будет определить следующим образом. Пользуясь уравнением (3.16) построим график V_{r_f} в интервале времени от $t = 0$ до $t = .00234$ *сек.*, как это показано на фиг. 104. После отметки времени .0016 *сек.* этот график вычерчивается пунк-



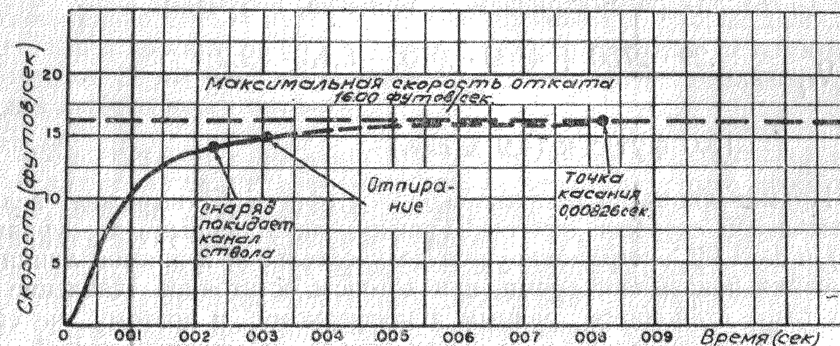
Фиг. 104. Скорость свободного отката в период нахождения снаряда в канале ствола.

тиром, причем отметка времени .0016 *сек.* согласно графику, изображенному на фиг. 92, отвечает моменту прохождения снарядом газового отверстия. Для интервала времени между $t = .0016$ *сек.* и $t = .00234$ *сек.* рассчитываем изменение скорости отката (из-за импульса поршня) путем деления ординат графика на массу откатывающихся частей. Допус-

каем при этом, что вес поршня мал по сравнению с весом всех откатных частей. Таким образом,

$$\triangle V_{r_f} = \frac{I}{M_r} = \frac{I \cdot g}{W_r} = \frac{32.2}{60} I = .520 I$$

Этот расчет проводится для нескольких ординат, и полученные величины вычитаются из соответствующих ординат графика, полученного согласно уравнению (3.16). Построенный таким образом график показан на фиг. 104 и 105. На фиг. 105 ось времени смещена, чтобы показать, как изменяется скорость после вылета снаряда из канала ствола.



Фиг. 105. Скорость свободного отката перед отпиранием.

Характер изменения скорости свободного отката после вылета снаряда из канала ствола не может быть установлен по уравнению (3.16), так как снаряд и часть пороховых газов уже не принадлежат более к рассматриваемой системе. Поскольку действие остаточного давления не может быть выражено простыми формулами, разработан специальный метод построения продолжения графика, полученного по уравнению (3.16) и фиг. 92.

Этот метод основан на результатах полигонных отстрелов оружия различного типа; эксперименты показывают, что максимальная скорость свободного отката может быть с достаточной точностью определена по следующей эмпирической формуле:

$$V_{r_f} = \frac{W_p \cdot V_p + 4700 \, W_c}{W_r} \tag{3.17}$$

Отсюда ясно, что максимальное количество движения, сообщаемое подвижным частям, равно сумме дульного количества движения снаряда и количества движения пороховых газов при допущении, что последние покидают ствол со средней скоростью 4700 фут/сек.

Хотя равенство (3.17) дает достаточно точное значение максимальной

скорости свободного отката для большинства систем обычного типа, тем не менее оно не учитывает тормозящего действия импульса газоотводного устройства. Поэтому необходимо вычесть уменьшение скорости, вызванное этим импульсом, из правой части равенства:

$$V_{r_f} = \frac{W_p V_p + 4700 W_c}{W_r} - \frac{I}{M_r} \tag{3.18}$$

При этом мы допускаем, что масса поршня слишком мала по сравнению с общей массой откатных частей и ее можно не учитывать.

Кривая, изображенная на фиг. 92, показывает, что полный импульс газоотводного устройства равен 5,13 фунт.сек (2,34 *кг.сек*). Решая уравнение (3.18) для рассматриваемого примера, получаем.

$$V_{r_f} = \frac{.29 \cdot 2750 + 4700 \cdot .070 - 5.13 \cdot 32.2}{60} =$$

$$= 16.0 \text{ фут/сек } (4{,}9 \text{ м/сек.})$$

Прямая линия на графике скорости (фиг. 105) выражает величину максимальной скорости отката. График, построенный по уравнению (3.16) и фиг. 92, экстраполируется до касательной к прямой линии. Точка касания показывает время, при котором остаточное давление пороховых газов становится равным атмосферному и поэтому не способствует дальнейшему росту скорости отката подвижных частей. Хотя ошибка в определении точки касания не приведет к серьезной ошибке в расчете, можно при построении графика найти точку касания аналитически, используя для определения продолжительности периода последействия формулу Валье.

$$T_{res} = \frac{M_c}{A\,P}(9400 - V_p) \tag{3.19}$$

Для заданных характеристик патрона и ствола

$$T_{res} = \frac{.070}{32.2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot .79^2 \cdot 5000} \cdot (9400 - 2750) = .00592 \text{ сек.}$$

Чтобы определить общее время действия пороховых газов, полученную величину следует прибавить ко времени нахождения снаряда в канале ствола, начиная с момента воспламенения заряда. Таким образом,

$$T_{res} = .00234 + .00592 = .00826 \text{ сек.}$$

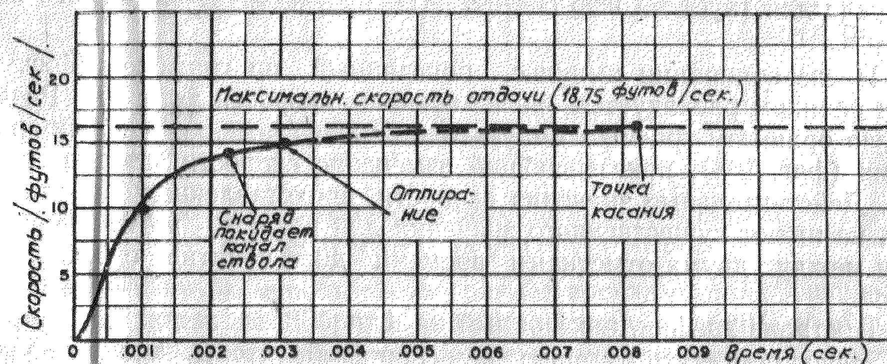
Продолжая график, полученный по уравнению (3.16) и фиг. 92, до тех пор, пока кривая не коснется линии максимальной скорости свободного отката, мы получим график скорости свободного отката (фиг. 105). Практически лишь часть этого графика соответствует условиям отката в

системе с отводом пороховых газов, поскольку отпирание системы происходит до того, как давление в канале ствола становится равным атмосферному. Следует также помнить, что график, полученный приведенным выше методом, должен быть откорректирован после определения действительного импульса газового узла.

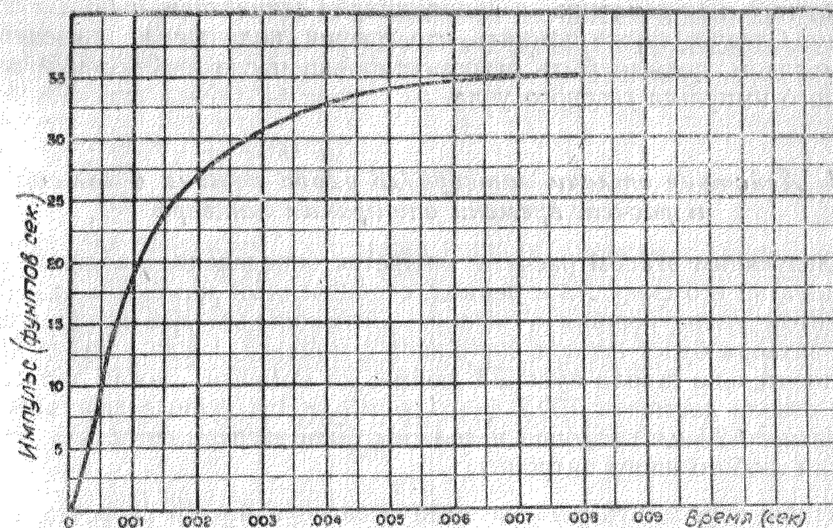
2. *Действие отдачи затвора до удара поршня о затвор и расчет времени отпирания затвора*

Следующим этапом расчета является определение влияния отдачи затвора на его скорость в период, ограниченный моментом отпирания и моментом удара поршня о затвор. Оптимальным для использования отдачи затвора будет период, длящийся с момента, когда затвор проходит относительно ствола путь .25 дюйма, до момента, когда давление в канале ствола достигнет 750.7 фунт/дюйм^2. (Эти данные действительны для штатного 20-*мм* патрона и должны быть экспериментально проверены для любого иного патрона).

Чтобы определить влияние отдачи затвора на его скорость, нужно найти величину относительной скорости затвора. Для этого необходимо знать вес затвора. Допустим, что его вес равен 5 фунтов (2,27 *кг*). После отпирания остаточное давление пороховых газов продолжает действовать на затвор, но, поскольку затвор с этого момента свободен, сила отдачи пушки, вызываемая остаточным давлением, уменьшается до нуля. При отсутствии надульника импульс давления пороховых газов на дульный торец ствола ничтожно мал по сравнению с общим импульсом от остаточного давления пороховых газов. Из фиг. 94 видно, что остаточное давление, равное 750.0 фунт/дюйм^2, соответствует отметке времени .005 *сек*. Время отпирания затвора должно быть таким, чтобы его перемещение относительно ствола составило .25 дюйма к отметке времени .005 *сек*. Эту задачу можно решить, используя данные, приведенные на фиг. 106. График, показанный на этой фигуре, строится так же, как график, приве-



Фиг. 106. Скорость свободного отката (без учета газового цилиндра).



Фиг. 107. Импульс давления пороховых газов в патроннике.

денный на фиг. 105, с той разницей, что при этом не учитывается импульс газового узла. Иными словами, график представляет скорость свободной отдачи, которую можно было бы получить при отсутствии газового цилиндра. Если ординаты графика скорости (фиг. 106) помножить на массу откатывающихся частей, то полученный таким образом график (фиг. 107), изображает импульс давления газов в патроннике. Справедливость этого вывода легко установить, вспомнив основное уравнение I = MV. Причина, заставляющая для определения импульса пользоваться специальным графиком, заключается в том, что на затвор действует только давление внутри патронника. Поскольку же импульс газового узла действует на всю систему, он не участвует в расчете отдачи затвора.

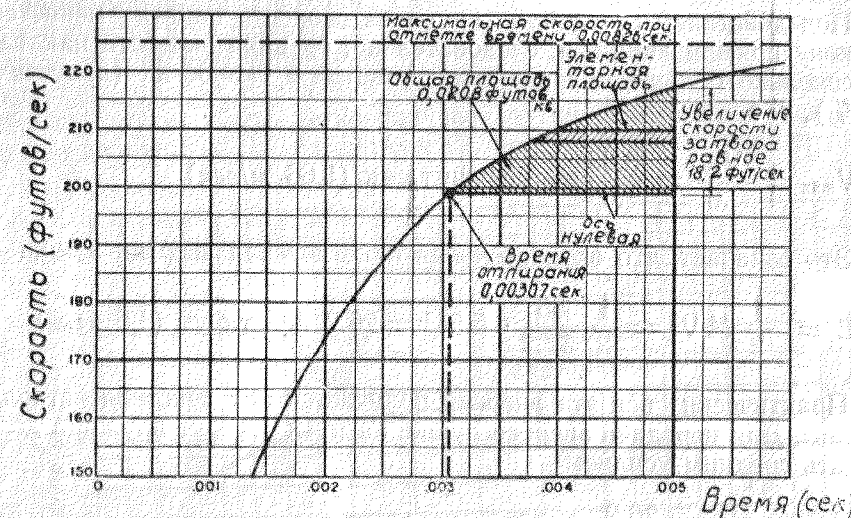
После отпирания импульс, показанный на графике (фиг. 107), почти целиком расходуется на изменение скорости затвора. Разделив каждую ординату графика импульса на массу затвора, получим новый график (фиг. 108), показывающий изменение скорости затвора по времени. Действительные значения скорости, представленные на этом графике, не имеют существенного значения для расчета, но изменение скорости между двумя отметками времени дает понятие о величине импульса.

Построив график, показанный на фиг. 108, мы должны определить, где следует поставить нулевую ось скоростей, чтобы площадь между этой осью и графиком до отметки времени .005 *сек.* была равна .25 дюйма (поскольку этот график является графиком скорости по времени, площадь под графиком выражает перемещение). Положение нулевой

оси можно установить, проведя вертикаль через отметку времени .005 *сек.* и вычислив площади между этой линией и графиком скорости. Расчет ведется до получения площади, равной .25 дюйма.

Абсцисса точки, в которой линия, ограничивающая нижний элемент площади, пересекает кривую скорости свободного отката и является требуемым временем отпирания системы (.00307 *сек.*). Ординаты, замеренные над этой линией, представляют скорость свободного отката затвора при отдаче относительно ствола. График показывает, что скорость свободного отката затвора между моментом отпирания и отметкой времени .005 *сек.* увеличивается на 18.2 фут/сек (5,46 *м/сек*).

Следует отметить, что, хотя расчет не учитывает действия возвратной пружины затвора на пути .25 дюйма, ошибка очень мала и совершенно не влияет на окончательный расчет. Данные, приведенные на графике (фиг. 180), будут в дальнейшем использованы при построении графика движения затвора до отметки времени .005 *сек.*



Фиг. 108. Изменение скорости затвора вследствие действия отдачи затвора и определение времени отпирания.

3. Выбор характеристик пружины ствола и определение скорости наката

Для того чтобы использовать раннее воспламенение капсюля, необходимо тщательно подобрать характеристики пружины ствола. Это необходимо для обеспечения соответствующего перемещения системы в накате по времени. Если пружина будет слишком сильной, пушка вернется в свое крайнее переднее положение слишком рано и будет остановлена механическим буферным устройством до полного наката затвора

и, следовательно, раннее воспламенение капсюля не даст никакого эффекта. Если же пружина ствола будет слишком слабой, замедлится накат пушки и снизится темп стрельбы. Однако в известных пределах выбор характеристик пружины может быть осуществлен одновременно с подбором времени наката, регулируемого его длиной.

Характеристики пружины определяются следующим образом. Допустим, что величина отката пушки равна 1.5 дюйма (37,5 *мм*). При раннем воспламенении капсюля величина наката пушки до момента выстрела составляет .1 фута (30 *мм*). При темпе стрельбы 1200 *выстр/мин* время движения пушки в накате на пути .1 фута будет немногим более половины общего времени цикла автоматики, т. е. примерно .030 *сек*. Следовательно, средняя скорость наката

$$V_{av} = \frac{D}{t} = \frac{.10}{.030} = 3.33 \text{ фут/сек } (1 \text{ м/сек})$$

Под действием ствольной пружины скорость наката меняется не по закону прямой линии, и, следовательно, средняя скорость наката будет несколько больше половины максимальной скорости (допустим — 60%), т. е.

$$V_{max} = \frac{V_{av}}{.6} = \frac{3.33}{.6} = 5.54 \text{ фут/сек } (1,66 \text{ м/сек})$$

Это означает, что окончательная кинетическая энергия пушки

$$E = \frac{1}{2} MV^2 = \frac{1}{2}\,\frac{55}{32.2} \cdot 5.54^2 = 26.2 \text{ фунт.фут } (3,5 \text{ кг.м})$$

Практически вся эта энергия получается от действия ствольной пружины. Для передачи энергии пушке на пути .1 фут пружина должна обладать средним усилием

$$F_{av} = \frac{E}{D} = \frac{26,2}{.1} = 262 \text{ фунт. } (119 \text{ кг.})$$

Если принять во внимание потери в самой пружине, то среднее усилие, необходимое для ее сжатия, должно быть несколько больше расчетной величины. Допустим, что для компенсации возможных потерь пружину ствола следует усилить на 10% (примерно на 30 фунт), т.е. среднее усилие пружины будет равно 292 фунт.

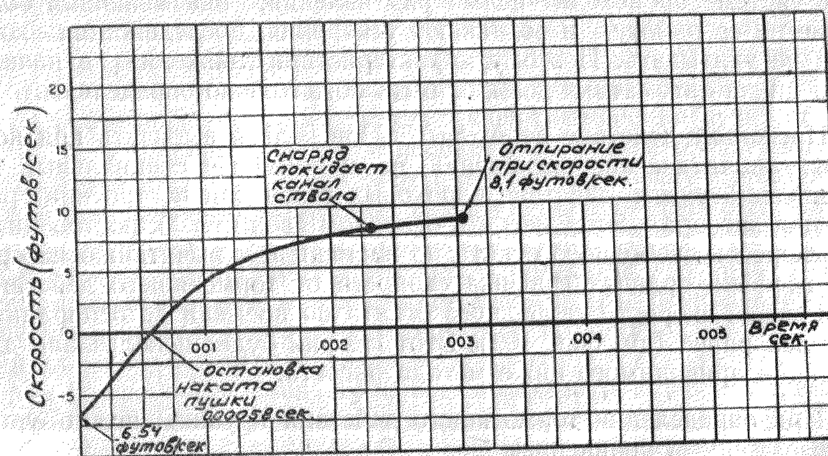
Чтобы получить это усилие, возьмем усилие предварительного поджатия, равное 200 фунт, и максимальное усилие поджатия на пути хода пушки (1.5 дюйма), равное 384 фунт. При этом жесткость пружины

$$K = \frac{384 - 200}{.125} = 1472 \text{ фунт/фут}$$

Скорость накатывающейся пушки в момент ее прихода в положение, при котором происходит выстрел, была принята равной 5.54 фут/сек. Однако приход затвора в переднее положение и его удар в ствол при запирании увеличивает скорость пушки. Поскольку расчетных величин скоростей пушки и затвора в момент удара пока нет, допустим для данного этапа расчета, что при ударе скорость пушки увеличивается на 1.0фут/сек и что пушка приходит в положение, при котором происходит выстрел, со скоростью приблизительно 6.54 фут/сек. При выстреле импульс от пороховых газов должен поглотить эту скорость прежде, чем пушка начнет свое движение назад под действием отдачи.

4. *Влияние раннего воспламенения капсюля на свободную отдачу пушки до момента отпирания*

На графике скорости свободного отката (фиг. 105) отмечена скорость подвижных частей при условии неподвижности пушки в момент выстрела. График позволяет также установить изменение скорости, вызываемое импульсом пороховых газов. Следует отметить, что это изменение неизбежно и не зависит от скорости пушки в момент выстрела. Поскольку, как было установлено, пушка движется в накат со скоростью 6.54 фут/сек, график изменения скорости пушки в любой момент после выстрела может быть легко получен путем перенесения оси абсцисс вверх на величину V = 6.54 фут/сек (2 *м/сек*). Именно такой график по-



Фиг. 109. Скорость свободного отката перед отпиранием (при условии раннего воспламенения капсюля).

казан на фиг. 109. Следует обратить внимание на то, что отрицательная скорость пушки возрастает до нуля за отрезок времени .00058 *сек*. Следовательно, в момент времени t = .00058 *сек*. накат пушки прекращается и она начинает откатываться, приобретая положительную скорость.

Важно отметить, что при таких условиях конечная скорость свободного отката, приобретаемая в момент отпирания, значительно меньше конечной скорости, которая была бы получена пушкой, неподвижной при выстреле. Таким образом, применение раннего воспламенения оказывается очень выгодным, так как уменьшение скорости отдачи уменьшает энергию отдачи пушки, что упрощает конструкцию откатного устройства.

5. *Расчетные графики пути и скорости по времени до отпирания*

Учитывая сложность операций, происходящих при откате и накате подвижных частей в системе с отводом пороховых газов, нецелесообразно составлять аналитические выражения для времени отката и наката, тем более, что эти выражения остаются достаточно сложными даже при допущении, что начальная кинетическая энергия сообщается подвижным частям мгновенно и что в расчете не учитываются явления, возникающие при действии давления пороховых газов. Однако в скорострельных системах, работающих на принципе отвода пороховых газов, время действия давления пороховых газов имеет важное значение и должно учитываться при построении графиков движения затвора. Детальный анализ в этом направлении особенно важен, так как именно в процессе выстрела в системе происходит целый ряд явлений, оказывающих большое влияние на ее работу, и возникают ускорения, последействия которых нельзя не учитывать. Поэтому характеристики движения в начальный период цикла автоматики должны быть обязательно определены.

Поскольку действие пороховых газов нельзя выразить при помощи простых аналитических выражений, нами применен специальный метод, позволяющий учесть действие пороховых газов при построении графика движения затвора. Этот метод в основном сводится к построению графика скорости свободного отката по времени и к вычитанию из ординат этого графика ординат графика скорости от тормозящего действия пружин. График скорости свободного отката по времени до отпирания был определен ранее (см. фиг. 109). Этот график будет использован для иллюстрации приводимого ниже метода расчета.

При определении тормозящего действия пружин используется закон, выраженный уравнением

$$F\,dt = M \cdot dv, \tag{3.20}$$

из которого следует, что изменение количества движения массы равно приложенному импульсу (произведению силы на время ее действия). Решая уравнение относительно dv, получаем

$$dv = \frac{F \cdot dt}{M}$$

Чтобы определить изменение скорости по времени, интегрируем это выражение и получаем

$$v = \int_0^t \frac{F \cdot dt}{M} = \frac{1}{M} \int_0^t F \cdot dt. \tag{3.21}$$

В соответствии с уравнением (3.21) торможение массы можно определить следующим образом:

1. Построить график изменения силы по времени.
2. Замерить площадь под графиком в интервале $t = 0$ и некоторым временем t
3. Разделить измеренную площадь на массу, получив таким образом ординату графика уменьшения скорости для времени t.
4. Повторить действия, указанные в пунктах 2 и 3, для других значений t и построить график уменьшения скорости от действия силы F.

Применяя эту методику и используя значения массы подвижных частей и сопротивления пружины ствола, мы получаем график уменьшения скорости отката, вызванного действием пружины до момента отпирания. Поскольку график скорости свободного отката показывает увеличение скорости в результате действия пороховых газов, разница между графиками и будет истинной скоростью отката, или, что—то же, скоростью торможенного отката.

Предложенный метод был бы очень прост, если бы сила сопротивления была постоянной или было бы известно изменение этой силы по времени. Трудность состоит в том, что усилие пружины изменяется по пути отката. Для того чтобы построить график изменения тормозящей силы по времени, необходимо иметь график изменения пути отката по времени, т. е. график, который и необходимо составить. Эту трудность можно преодолеть, используя метод последовательного приближения. При действии давления пороховых газов уменьшение скорости, вызываемое сопротивлением пружины, относительно мало и его можно целиком отнести за счет усилия предварительного поджатия пружины. Изменение сопротивления из-за жесткости пружины в этот период времени может не учитываться, но при необходимости его приближенное значение сравнительно нетрудно определить.

Методика построения графика скоростей и пути по времени до момента отпирания состоит в следующем:

1. Строим график скорости свободного отката по времени (фиг. 110).
2. Определяем уменьшение скорости вследствие предварительного поджатия пружины ствола по формуле

$$\frac{F_{0_1}\, t}{M_r}.$$

Установив уменьшение скорости для различных моментов времени, строим график торможенной скорости отката пушки. Если влияние жест-

кости пружины окажется незначительным, то этот график и будет окончательным графиком торможенной скорости.

3. Путем интегрирования площади под графиком находим график перемещения.

4. Допустим, что это—истинный график пути по времени. Используем его для определения уменьшения скорости вследствие изменения усилия F из-за жесткости пружины. Обычно замедление настолько мало, что практически не влияет на величину скорости.

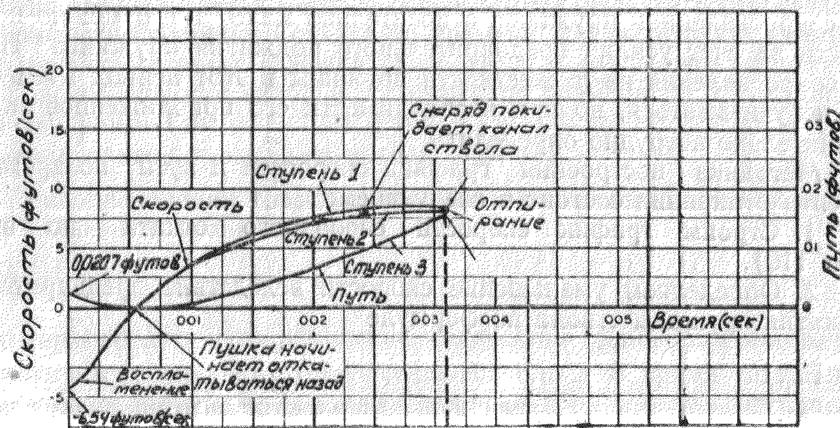
5. В том случае, если это замедление окажется достаточно большим и сможет существенно повлиять на величину скорости, используем полученные данные для корректировки графика скорости (пункт 2) и произведем интегрирование площади под откорректированным графиком для получения исправленного графика перемещения по времени.

6. Повторим действия, указанные в пункте 4 и 5, до тех пор, пока есть существенные изменения в графике перемещения. Фактически этот процесс постепенного приближения не является обязательным, и удовлетворительные результаты могут быть получены уже по первым трем пунктам или, в крайнем случае, по первым пяти пунктам.

На фиг. 110 приведены графики, полученные в интервале времени до момента отпирания. Общее уменьшение скорости из-за усилия предварительного поджатия ствольной пружины в период, ограниченный отметками времени .00058 — .00307 *сек.*,

$$V = \frac{F_{o_1} t}{M_r} = \frac{200 \cdot .00249 \cdot 32.2}{60} = .268 \text{ фут/сек. } (0,08 \text{ м/сек})$$

Уменьшение скорости из-за жесткости пружины определяется с помощью метода, описанного в пункте 4, и равно всего .013 фут/сек. Окон-

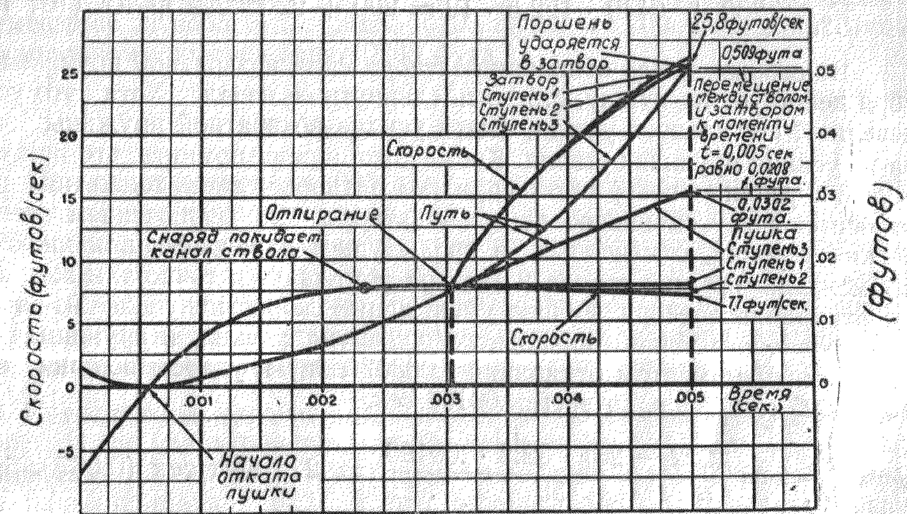


Фиг. 110. Определение кривых пути и скорости по времени для периода до момента отпирания.

чательные графики, показанные на фиг. 110, являются результатом расчетов, произведенных по трем первым пунктам, так как уменьшение скорости из-за жесткости пружины очень мало. Графики показывают, что скорость в момент отпирания равна 7.9 фут/сек (2,36 *м/сек*) и что к этому моменту пушка откатилась на .0149 фута (4,5 *мм*).

6. Расчетные графики пути и скорости по времени после отпирания. Выбор характеристик возвратной пружины затвора

После отпирания пушка и затвор почти не зависят друг от друга (между ними остается только упругая связь через возвратную пружину затвора). Так как после отпирания затвора сама пушка больше не подвергается действию пороховых газов, ее откат совершается примерно с той же скоростью, с какой она откатывалась в момент отпирания. На графике (фиг. 111) скорость свободного отката выражена прямой линией. График скорости свободного отката затвора строится по данным



Фиг. 111. Построение графиков пути и скорости по времени для периода от отпирания затвора до удара поршня о затвор.

графика, изображенного на фиг. 108, путем суммирования его ординат с соответствующими ординатами графика скорости свободного отката пушки.

Перед тем как приступить к расчету, необходимо подобрать характеристики возвратной пружины затвора. Поскольку эта пружина служит для досылки патрона в крайнее переднее положение и не рассчитана на поглощение всей энергии отката затвора, ее усилие не должно

быть чрезмерно большим. Подбор характеристик пружины носит произвольный характер. Для того чтобы обеспечить высокий темп стрельбы, пружина, с одной стороны, должна быть относительно слабой, т. е. не должна сильно тормозить откат затвора, а с другой, — ее усилие должно быть достаточным для обеспечения запирания затвора в крайнем переднем положении. Учитывая оба эти требования, можно считать, что усилие предварительного поджатия 25 фунтов (11,5 *кг*) и жесткость 10 фунт/дюйм (1,8 *кг/см*) вполне достаточны. Если считать, что для обеспечения подачи очередного патрона затвор должен откатываться на 10 дюймов, то максимальное усилие пружины должно быть в пределах 127 фунт (57 *кг*). Очевидно, эту величину можно принять как допустимую, поскольку она не вызывает затруднений при перезарядке системы.

Анализируя движение системы после отпирания, необходимо учесть два фактора. Во-первых, в момент отпирания пружина ствола поджата на .0149 фута (4,5 *мм*) (фиг. 110). Это означает, что начальное поджатие пружины должно быть увеличено, т. е.

$$F_{o_1} = 200 + .0149 \cdot 122.5 \cdot 12 = 200 + 22 = 222 \text{ фунт } (101 \text{ кг.})$$

Во-вторых, после отпирания затвора сила возвратной пружины затвора действует на пушку, стремясь сдвинуть ее назад. Хотя это усилие невелико, его следует учесть, вычтя усилие возвратной пружины затвора из усилия пружины ствола. Кроме того, нужно помнить, что при определении усилия возвратной пружины затвора путь поджатия равен относительному смещению пушки и затвора. За исключением специфических условий, отмеченных в предыдущем параграфе, влияние силы торможения пружин ствола и затвора учитывается точно так же, как и до отпирания затвора. Общее уменьшение скорости пушки из-за скорректированного усилия начального поджатия ствольной пружины в период между моментом отпирания (.00307 *сек.*) и ударом поршня о затвор (.005 *сек.*), т. е. за время .00193 *сек.*

$$V = \frac{F_o}{M_1} t = \frac{(222 - 25) \cdot 32.2 \cdot .00193}{55} = .223 \text{ фут/сек } (0{,}067 \text{ м/сек})$$

Уменьшение скорости, вызванное суммарным действием жесткости пружин, полученное методом, указанным в пункте 4, и скорректированное на основании ранее изложенных замечаний, равно .046 фут/сек. Графики движения пушки, показанные на фиг. 111, являются результатом расчетов по пунктам 2 и 3. Поскольку уменьшение скорости из-за учета жесткости пружин очень мало, расчетами по пункту 5 пренебрегаем.

Тормозящее действие возвратной пружины затвора определяется следующим образом. Проводятся расчеты по пункту 2 для определения уменьшения скорости затвора из-за влияния предварительного поджатия пружины. Уменьшение скорости в период между моментом отпирания и моментом удара поршня по затвору выражается формулой

$$V = \frac{F_{o_2}}{M_2} t = \frac{25 \cdot .32.2 \cdot .00193}{5} .310 \text{ фут/сек } (0{,}093 \text{ м/сек.})$$

Затем проводятся расчеты по пункту 3 и определяется относительное перемещение ствола и затвора путем наложения графика пути пушки на график пути затвора. График относительного перемещения может быть использован для расчетов по пункту 4. Уменьшение скорости, установленное таким образом, равно всего лишь .0120 фут/сек. Поскольку уменьшение скорости из-за жесткости пружины очень мало, проводить вычисления по пункту 5 нецелесообразно.

Окончательная форма графиков, приведенных на фиг. 111, указывает, что в момент удара поршня о затвор скорость перемещения последнего равна 25.8 фут/сек (7,65 *м/сек*), а скорость пушки —7.7 фут/сек. (2,3 *м/сек*). К моменту удара затвор переместился назад на .0507 фута (15,2 *мм*), а пушка на .0302 фута (9 *мм*). Следовательно, относительное перемещение затвора будет равно .0205 фута, что близко к допустимому относительному перемещению .0208 фута.

7. Удар поршня о затвор

При отметке времени .005 *сек.* от начала цикла автоматики остаточное давление в канале ствола падает до допустимой величины, т. е. до 750 фунт/дюйм² (52,7 *кг/см²*); с этого момента затвор может отходить назад со значительно большей скоростью, не нарушая прочности гильзы. Следует отметить, что, поскольку остаточное давление пороховых газов еще не равно атмосферному, до и после удара поршня будет иметь место отдача затвора.

Прежде всего следует установить, какую скорость должен иметь затвор после удара поршня, чтобы темп стрельбы был равен 1200 *выстр/мин*. Для такого темпа время движения затвора назад должно быть равно примерно .022 *сек*, что несколько меньше половины общего времени цикла. Принимаем величину отката затвора относительно пушки равной 10 дюймам (250 *мм*), что обеспечит подачу очередного патрона. Поскольку сама пушка откатывается назад на 1.5 дюйма (37,5 *мм*), общий ход затвора в откате должен быть не менее 11.5 дюйма (288 *мм*). При отметке времени .005 *сек.* затвор, как было уже отмечено, сместится назад на .0507 фута (15,2 *мм*) и должен будет пройти оставшийся путь .907 фута (272,8 *мм*) за .017 *сек.* Это означает, что затвор должен двигаться со средней скоростью

$$V_{av} = \frac{D}{t} = \frac{.907}{.017} = 53{,}3 \text{ фут/сек } (16 \text{ м/сек})$$

Влияние возвратной пружины затвора учитывается следующим образом. Усилие предварительного поджатия пружины затвора в момент удара поршня о затвор

$$F'_{c_2} = F_{o_2} + K_2 D = 25 + .0207 \cdot 10 \cdot 12 =$$

$$= 25 + 2.5 = 27.5 \text{ фунт } (12{,}5 \text{ кг})$$

Усилие пружины, поджатой на 10 дюймов (.833 фут)

$$F = 25 + 10 \cdot 10 = 125 \text{ фунт } (57 \text{ кг})$$

Таким образом, среднее усилие пружины в интервале времени .017 *сек*, необходимом для полного отката затвора,

$$F_{av} = \frac{125 + 27.5}{2} = 81.2 \text{ фунт } (37 \text{ кг})$$

Этот подсчет недостаточно точен, так как скорость движения постоянна, но вполне приемлем для данного случая. Уменьшение скорости затвора из-за сопротивления возвратной пружины

$$V = \frac{F_{av} \cdot t}{M} = \frac{81.2 \cdot .017 \cdot 32.2}{5} = 8.89 \text{ фут/сек } (2{,}7 \text{ м/сек.})$$

Из графика, изображенного на фиг. 108, видно, что отдача затвора после отметки времени в .005 *сек.* увеличивает его скорость на 7.5 фут/сек (2,24 *м/сек*). Поэтому суммарное уменьшение скорости затвора после удара представляет собой разность между уменьшением скорости из-за сопротивления возвратной пружины и увеличением скорости, обусловленным влиянием отдачи затвора, т. е. 8.89 — 7.50 = 1.40 фут/сек. Поскольку суммарное уменьшение скорости равно 1.40 фут/сек, а средняя скорость затвора, необходимая для получения темпа стрельбы 1200 ***выстр/мин.***, составляет 53.3 фут/сек., скорость затвора после удара поршня должна быть равна $53.3 + \frac{1.40}{2} = 54.0$ фут/сек. Учитывая время, затрачиваемое на поджатие буфера, принимаем скорость затвора после удара поршня равной 55 фут/сек (16,5 *м/сек*).

Итак, для определения условий удара поршня о затвор мы располагаем следующими данными:

Вес затвора, *фунт*	5
Начальная скорость затвора, *фут/сек*	25.8
Требуемая скорость затвора после удара, *фут/сек*	55

Поскольку все детали изготовлены из стали, коэффициент восстановления можно считать равным .55. Используя эти данные, проводим расчет, подобный описанному выше. Выводим уравнение, выражающее

зависимость между скоростью и весом поршня, используя при этом следующие зависимости:

$$V'_2 - V'_1 = e(V_1 - V_2)$$

$$55 - V'_1 = .55(V_1 - 25.8)$$

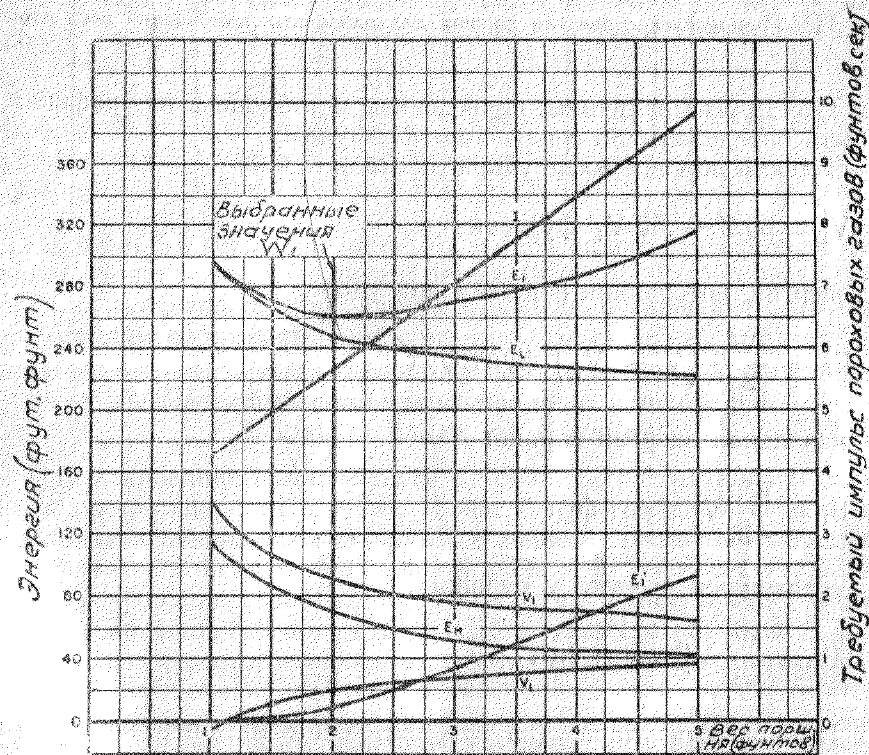
$$V'_1 = 69.2 - .55 V_1$$

$$W_1 V_1 + W_2 V_2 = W_1 V'_1 + W_2 V'_2$$

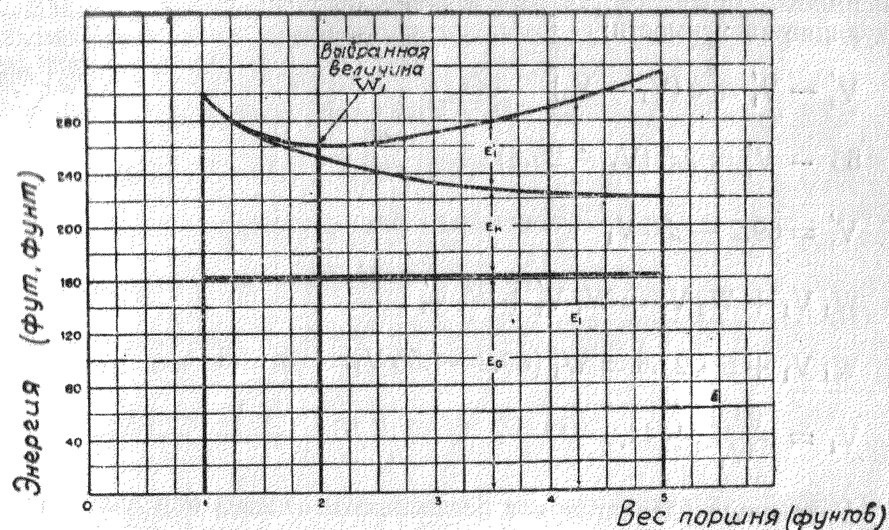
$$W_1 V_1 + 5 \cdot 25.8 = W_1 (69.2 - .55 V_1) + 5 \cdot 55$$

$$V_1 = \frac{94{,}2}{W_1} + 44{,}6$$

Уравнению удовлетворяет бесчисленное число пар значений для V_1 и W_2 часть которых приведена в табл. 3 и графически отражена на фиг.



Фиг. 112. Факторы, влияющие на выбор веса и скорости поршня.



Фиг. 113. Распределение энергии поршня для различных комбинаций веса поршня.

112 и 113. Другие величины, приведенные в таблице и на графиках, могут быть определены по следующим формулам:

скорость поршня после удара о затвор

$$V_1' = 69.2 - .55\, V_1 \text{ фут/сек}$$

энергия, потерянная поршнем при ударе,

$$E_L = \frac{W_1}{2g}\left(V_1^2 - V_1'^2\right) \text{ фунт.фут}$$

начальная энергия поршня

$$E_1 = \frac{W_1}{2g} V_1^2 \text{ фунт.фут}$$

оставшаяся энергия у поршня

$$E_1' = \frac{W_1}{2g} V_1'^2 \text{ фунт.фут}$$

Потери при ударе (на преобразование механической энергии в тепловую)

$$E_H = E_L - E_G \text{ фунт.фут}$$

Необходимый импульс пороховых газов.

$$I = M\,V \text{ фунт сек}$$

Энергия, получаемая затвором, одинакова для всех рассматриваемых случаев и может быть определена по формуле

$$E_G = \frac{W_2}{2g}\left(V_1' - V_1^2\right) = \frac{5}{2 \cdot 32.2}\left(55^2 - 25{,}2^2\right) =$$

$$= 182 \text{ фунт.фут } (24{,}8 \textit{ кгм})$$

Таблица 3

Величины, используемые при выборе веса поршня

W_1	V_1	V_1'	E_L	E_1	E_1'	E_H	I
1	138.8	— 7.1	298	299	0.76	116	4.31
1,5	107.4	10.1	267	269	2.37	85	5
2	91.7	18.2	251	261	10.3	69	5.7
2.5	82.3	23.9	241	263	22.2	59	6.38
3	76	27.4	234	269	35	52	7.07
4	68.1	31.7	226	289	62.4	44	8.45
5	63.4	34.3	221	312	91,3	39	9.85

Из табл. 3 и графиков (фиг. 112 и 113) видно, что наиболее рациональным является вес поршня в 2 фунта (910 *г*). Выбор веса поршня основан на замечаниях, приведенных в разделе, посвященном анализу систем с отводом пороховых газов.

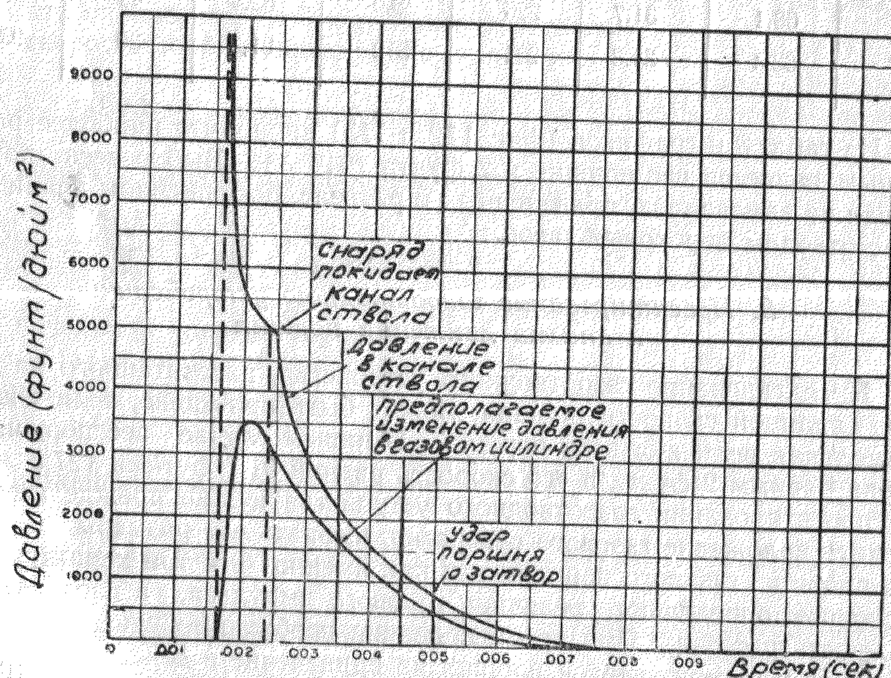
8. Проектирование газоотводного устройства и анализ движения поршня

Проектирование газоотводного устройства, рассчитанного на получение заданной скорости поршня, может быть проведено, если известна оптимальная величина веса поршня. В нашем случае вес поршня был выбран равным 2 фунт., а его скорость равной 91.7 фут/сек (27,5 *м/сек*). При проектировании газоотводного устройства нужно прежде всего определить положение газового отверстия, выбрать его размеры и установить площадь газового поршня, так как именно эти три характеристики в основном определяют величину газового импульса, а следовательно, и скорость поршня. При проектировании необходимо учитывать потери на трение и потери энергии поршня на приведение в действие механизма отпирания. В настоящем анализе эти расчеты опускаются, так как предполагается, что конкретное устройство механизма отпирания неизвестно.

Как указывалось выше, условия течения газа по газопроводу от канала ствола до газового цилиндра нельзя выразить при помощи простых математических зависимостей. Однако можно провести анализ движения поршня и определить величину требуемого импульса при условии, что мы знаем характер изменения давления в газовом цилиндре. При отработке опытного образца пушки фактические размеры газового отверстия, необходимые для обеспечения требуемого импульса, могут быть окончательно установлены путем экспериментального отстрела.

При анализе движения поршня следует прежде всего определить положение газового отверстия. Оно должно быть расположено так, чтобы путь снаряда по каналу ствола до отверстия был бы не менее 2.5 фут (750 *мм*). Как видно из фиг. 103, это положение соответствует отметке времени .00166 *сек*. К этому моменту скорость отката пушки будет равна 6.4 фут/сек (1,92 *м/сек*). (см. фиг. 110). Поскольку поршень движется в откат вместе с пушкой, он к моменту, когда на него начинают действовать пороховые газы, уже обладает какой-то начальной скоростью.

На фиг. 114 представлена часть графика изменения давления пороховых газов в канале ствола по времени и, кроме того, показано, как изменяется давление в газовом цилиндре для данного типа патрона и для данного размера газового отверстия. Конструкция газоотводного устройства должна быть рассчитана так, чтобы давление пороховых газов, действующее в интервале времени от .00166 до .005 *сек*., обеспечило уве-



Фиг. 114. Предполагаемое изменение давления пороховых газов в газовом цилиндре.

личение скорости поршня с 6.4 до 91,7 фут/сек. Импульс давления по[...] ховых газов в газовом цилиндре на единицу площади может быть н[...] ден путем интегрирования графика давления в пределах от $t = .00166$ с[...] до $t = .005$ *сек*. Для рассматриваемого примера этот импульс равен[...] фунт.сек (2,72 *кг.сек*). Чтобы увеличить скорость поршня с 6.4 до 9[...] фут/сек. требуется импульс

$$I = M\left(V_1' - V_1\right) = \frac{2}{32.2} \cdot (91.7 - 6.4) = 5.3 \text{ фунт.сек. } (2{,}4 \text{ кг.се[...]}$$

Такой импульс можно получить при площади поршня

$$A = \frac{5.3}{6.0} \cdot 1 = .884 \text{ дюйм}^2$$

и диаметре поршня

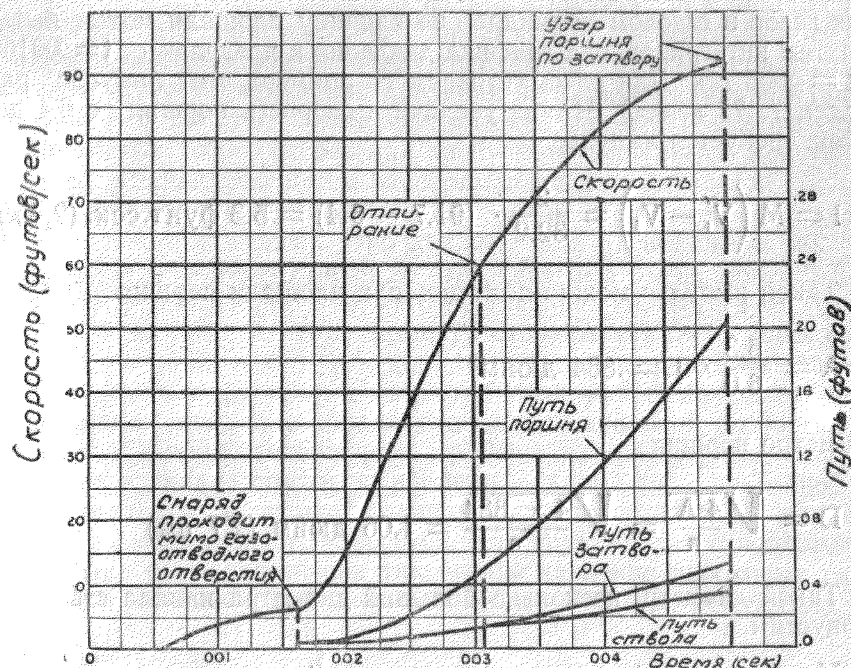
$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot .884}{\pi}} = 1.06 \text{ дюйм } (2{,}7 \text{ см})$$

Такой диаметр, несколько больший диаметра канала ствола, впол[...] не допустим.

На основе графика давления (фиг. 114) можно определить харак[...] тер движения поршня. Поскольку в период между началом движени[...] поршня и его ударом о затвор скорость пушки меняется, следует рас[...] смотреть абсолютное движение поршня (относительно люльки пушки)[...] Умножая каждую ординату графика давления пороховых газов в газо[...] вом цилиндре на найденную площадь поршня, можно получить силу[...] действующую на поршень в любой момент времени. Поделив каждую из[...] полученных таким образом новых ординат на массу поршня и проинте[...] грировав полученный график в тех же пределах, мы получим изменение[...] скорости поршня под действием давления пороховых газов:

$$\triangle V = \int_{t_1}^{t_2} \frac{P \cdot A}{M} dt$$

График скорости, представленный на фиг. 115, является результатом этих расчетов с соответствующей корректировкой, выражающейся в увеличении всех ординат на величину в 6.4 фут/сек. График пути поршня был получен путем интегрирования графика его скорости. При сравнении графиков пути поршня и пути затвора можно установить, что свободный откат поршня до начала работы отпирающего механизма должен быть равен .036 фута (10,8 *мм*) (отрезок АВ на фиг. 95). После отпирания поршень должен иметь свободный ход до удара о затвор, равный .132 фута (39,5 *мм*) (отрезок ВС на фиг. 95). Этот свободный ход обеспечивает использование отдачи затвора при снижении оста-



Фиг. 115. Кривые пути и скорости поршня до удара в затвор.

точного давления пороховых газов в канале ствола до допустимой величины.

9. Расчетные графики пути и скорости затвора по времени после удара поршня

Для построения графиков пути и скорости движения затвора после удара поршня необходимо рассматривать одновременно и движение затвора и движение пушки. Как показано на фиг. 111, скорость пушки при отметке времени .005 *сек.* равна 7.7 фут/сек (2,3 *м/сек*), причем с этого момента скорость ее свободного отката можно принять постоянной. Отметка времени .005 *сек.* соответствует величине отката пушки, равной .0302 фута (9 *мм*), причем усилие ствольной пружины на этом пути

$$F_{o_1} + K_1 D = 200 + 122.5 \cdot 12 \cdot .0302 = 244.5 \text{ фунт } (111 \text{ кг})$$

Чтобы определить характер движения пушки, начиная с отметки времени .005 *сек.*, это усилие следует рассматривать как усилие предварительного поджатия. Поскольку в этот момент затвор кинематически не связан с пушкой, усилие возвратной пружины затвора стремится увеличить скорость отката пушки и поэтому его нужно вычесть из усилия ствольной пружины. В момент удара поршня о затвор расстояние между стволом и затвором равно .25 дюйма. При такой величине поджатия усилие возвратной пружины затвора

$$F_{o_2} + K_2 D = 25 + .10 \cdot .25 = 27.5 \text{ фунт } (12,5 \text{ кг})$$

Вычитая эту величину из откорректированного усилия предварительного поджатия ствольной пружины, мы получаем величину, равную 217 фунт (98,5 *кг*). Тормозящее действие этой силы на пушку можно установить точно так же, как при построении графиков движения подвижных частей до удара поршня. Уменьшение скорости движения пушки из-за сопротивления предварительного поджатия ствольной пружины

$$V = \frac{F_o}{M} t = \frac{21.7 \cdot 32.2}{55} t = 127 t \text{ фут/сек}$$

т. е. действие предварительного поджатия пружины ствола уменьшает скорость отката пушки с замедлением, равным примерно 127 фут/сек^2 как показано на фиг. 116 (кривая 2).

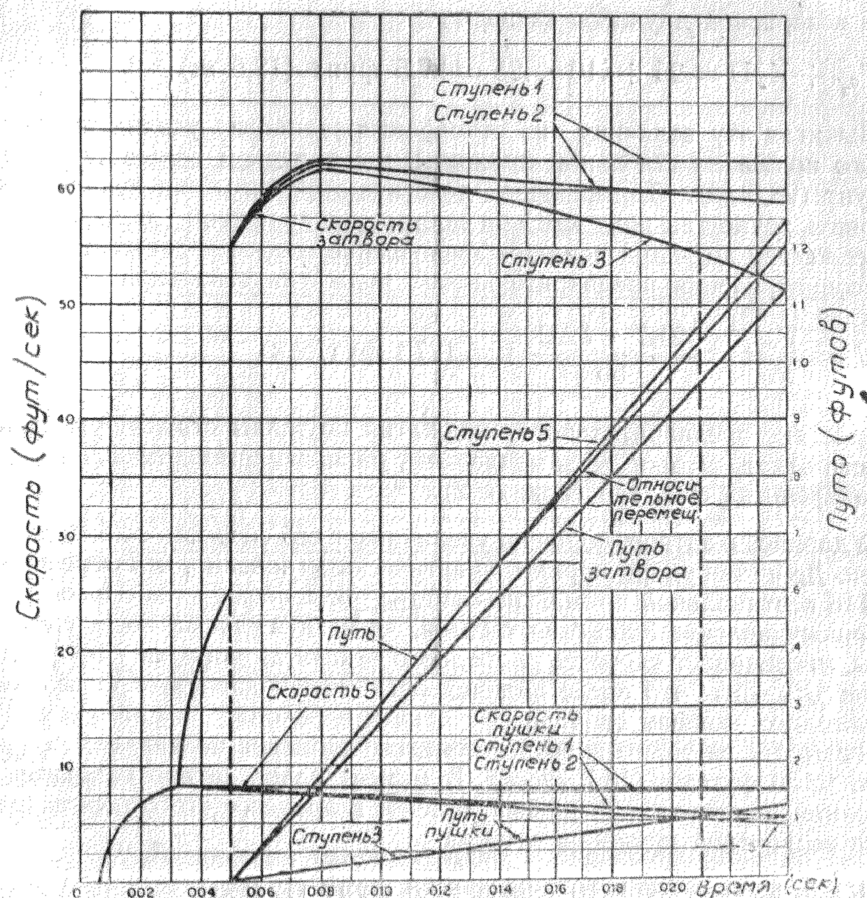
Ударяясь о затвор, поршень увеличивает его скорость с 25.80 до 55.0 фут/сек. Действие удара поршня практически мгновенно, что отмечено на фиг. 116 вертикальной прямой на отметке времени .005 *сек.* После удара остаточное давление пороховых газов, действуя на затвор через дно гильзы, увеличивает скорость свободного отката затвора на 7.50 фут/сек. Следует отметить, что после падения остаточного давления до величины атмосферного кривая свободного отката переходит в прямую линию. Это указывает на то,что затвор стремится двигаться по инерции со скоростью 62.50 фут/сек (18,7 *м/сек*). В момент удара затвор находится на расстоянии от ствола .25 дюйма, причем в процессе этого перемещения усилие возвратной пружины затвора

$$F_{o_2} + K_2 D = 25 + 10 \cdot 25 = 27.5 \text{ фунт } (12,5 \text{ кг})$$

Для построения графиков движения затвора это усилие следует рассматривать как усилие предварительного поджатия, и его тормозящее действие может быть установлено методами подобными тем, которые применялись при учете сопротивления возвратной пружины до удара поршня о затвор. Скорость затвора из-за усилия предварительного поджатия пружины уменьшается на

$$V = \frac{F_o}{M} t = \frac{27.5 \cdot 32.2}{5} t = 177 t \text{ фут/сек}$$

т. е. действие предварительного поджатия пружины затвора уменьшает скорость отката затвора с замедлением, равным примерно 177 фут/сек^2,



Фиг. 116. Действие пружин ствола и затвора до момента удара затвора о буфер затыльника.

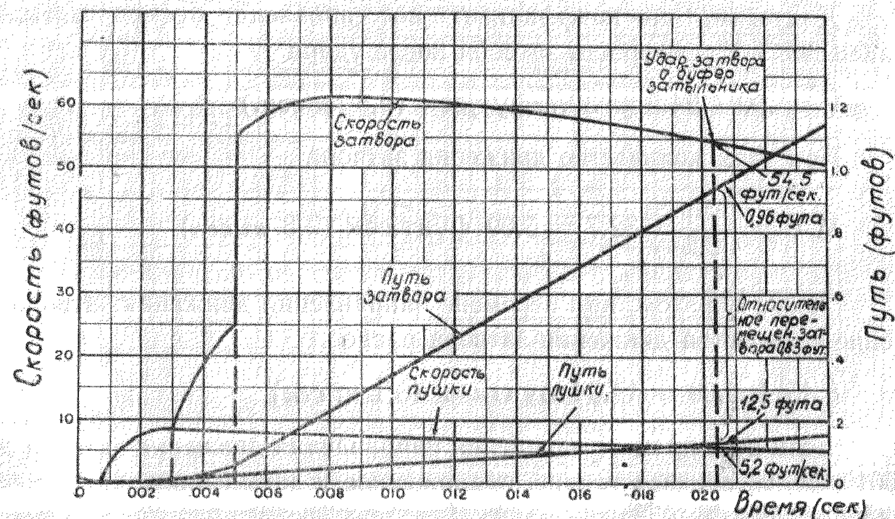
Чтобы установить влияние жесткости пружин, определяем в первом приближении величину перемещения затвора относительно пушки, вычитая ординаты графика пути пушки из ординат графика перемещений затвора.

Используя изложенный метод, можно определить уменьшение скорости отката пушки из-за действия ствольной пружины (влияния предварительного поджатия и жесткости пружины) и увеличение скорости отката пушки под влиянием пружины затвора.

Уменьшение скорости отката пушки получаем путем вычитания прироста скорости под влиянием возвратной пружины затвора из величины падения скорости, вызванной действием ствольной пружины. Величина фактического уменьшения скорости отката пушки вычитается, в свою очередь, из величины ординат графика скорости пушки (индекс 3), причем мы получаем окончательный график скорости пушки (индекс 5). Поскольку изменение графика скорости незначительно, корректировать график пути пушки нецелесообразно, и можно считать график, обозначенный индексом 3, окончательным графиком пути.

Влияние жесткости возвратной пружины затвора может быть установлено при помощи графика относительного перемещения и метода, изложенного в пункте 4, причем мы получаем график скорости затвора, изображенный под индексом 5 на фиг. 116. Окончательный график перемещений, также обозначенный индексом 5, находим путем интегрирования графика скорости. Поскольку выполнение корректировки по методу, описанному в пункте 6, приводит лишь к незначительным изменениям графиков, считаем, что графики, определяемые в соответствии с пунктом 5, являются окончательными и полностью учитывают действие возвратной пружины затвора.

На фиг. 117 показаны графики скорости затвора и пушки и графики пути, полученные путем прибавления к перемещениям затвора и пушки в момент удара поршня о затвор перемещений, представленных на фиг. 116 (для затвора .0509 фута (15,2 *мм*), для пушки .0305 фута (9 *мм*). Имея окончательные графики пути по времени, можно с достаточной точностью установить, в какой момент произойдет удар затвора о буфер затыльника. Для удара в затыльник затвор должен переместиться назад на 10 дюймов (250 *мм*) по отношению к пушке. Как показы-



Фиг. 117. График пути и скорости пушки и затвора до момента удара затвора о буфер затыльника.

вает фиг. 117, это перемещение имеет место в конце периода времени .021 *сек.*, что соответствует ориентировочному значению времени отката, взятому ранее. В момент удара откат пушки равен 1.5 дюйма (37,5 *мм*), что также соответствует величине отката, принятой нами в начале анализа. При столь хорошем совпадении проектных и расчетных данных нет никакой необходимости уточнять расчет.

Следует указать на то, что скорость удара затвора о буфер затыльника равна 55.4 фут/сек (16,3 *м/сек*), а скорость пушки в ее крайнем заднем положении 5.2 фут/сек (1.6 *м/сек*).

10. Анализ движения частей автоматики в конце их отката

В скорострельных автоматических системах буфер затыльника предназначен для изменения направления движения затвора в конце его отката при минимальном уменьшении скорости затвора, а следовательно, и темпа стрельбы системы. При анализе системы с отводом пороховых газов уже указывалось, что перемена направления движения затвора сопровождается потерей энергии. Скорость затвора в начале наката, т. е. после удара о буфер, равна примерно 60% скорости удара.

Поскольку скорость затвора до удара в буфер равна 55.4 фут/сек, то количество движения затвора в момент удара

$$MV = \frac{5}{32.2} \cdot 54{,}5 = 8.45 \text{ фунт.сек } (3{,}84 \text{ кг.сек})$$

Допустим, что коэффициент восстановления буфера затыльника равен .60. Тогда скорость затвора после удара

$$V = .60 \cdot 54.5 = 32.7 \text{ фут/сек } (9{,}8 \text{ м/сек.})$$

При этом количество движения затвора

$$MV = \frac{5}{32.2} \cdot 32.7 = 5.09 \text{ фунт.сек } (2{,}3 \text{ кг.сек})$$

Таким образом, при перемене направления движения затвора изменение количества движения затвора равно

$$8.45 + 5.09 = 13.54 \text{ фунт.сек } (6{,}1 \text{ кг.сек})$$

Если весь процесс изменения направления движения затвора длится .001 *сек.*, то среднее усилие, приложенное к затыльнику,

$$\frac{13.54}{.001} = 13540 \text{ фунт } (6100 \text{ кг})$$

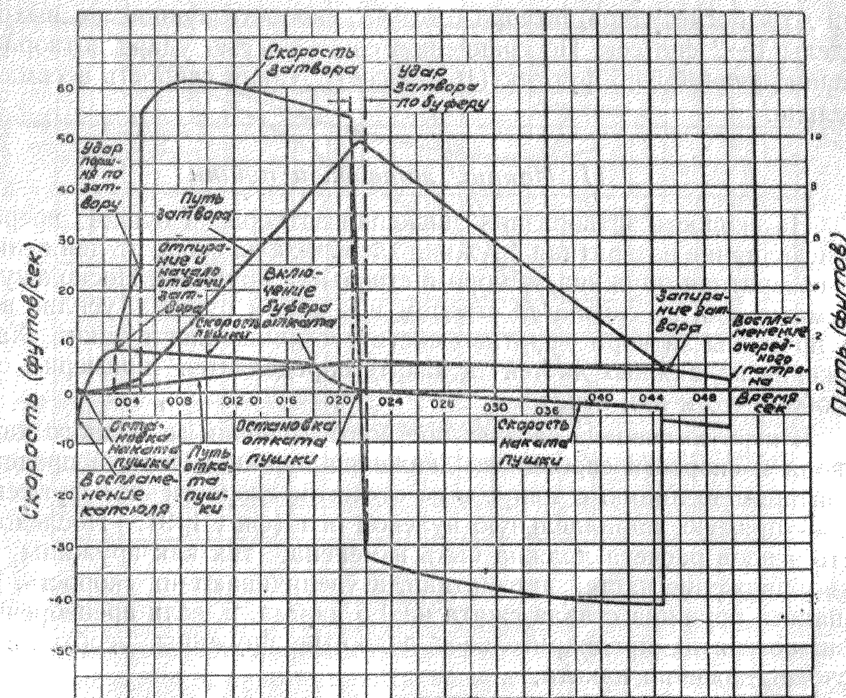
а энергия удара затвора о буфер

$$E = \frac{1}{2} MV^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{5}{32.2} 54.5^2 = 230 \text{ фунт.фут } (31{,}5 \text{ кг.м})$$

Если мы допустим, что агрегат затыльника оказывает постоянное сопротивление 13540 фунт, то упругая деформация пружинящего элемента буфера при ударе затвора

$$\frac{230}{13540} = .017 \text{ фут } (5 \text{ мм})$$

Зная величину упругой деформации буфера, можно закончить построение графиков пути и скорости затвора для последнего участка отката продолжительностью в .001 *сек.* Эти графики показаны на фиг. 118.



Фиг. 118. Графики пути и скорости подвижных частей пушки с отводом пороховых газов.

Как было показано выше, движение пушки должно быть согласовано с движением затвора так, чтобы в момент удара затвора о буфер скорость пушки была бы равна или почти равна нулю. С расчетом на это

характеристики откатного устройства и буфера отката пушки подбираются такими, чтобы небольшие по величине изменения момента удара затвора о буфер затыльника не приводили бы к резким нарушениям работы автоматики и режимов отката и наката пушки.

В данном разделе вопрос о конкретном устройстве буфера отката пушки не рассматривается, но принципиально допускается возможность использования буферного устройства гидравлического типа. Примерная картина движения системы при таком устройстве показана на фиг. 118.

Гидравлическое устройство позволяет включать гидравлический тормоз только на .018 *сек.* с начала цикла автоматики и снизить скорость отката пушки с 5.8 фут/сек (1,75 *м/сек.*) до нуля через .0210 *сек.* от начала цикла. В конце участка торможения происходит жесткий удар пушки о люльку, и поэтому удар затвора о затыльник не вызывает обычного в таких случаях отскока системы.

Необходимо учесть, что в течение значительного промежутка времени до и после удара затвора о буфер, скорость пушки не выходит за пределы 1—2 фут/сек. По сравнению со скоростью удара затвора о затыльник, равной 54.5 фут/сек (16,4 *м/сек*), такая скорость весьма незначительна.

11. Накат затвора и пушки

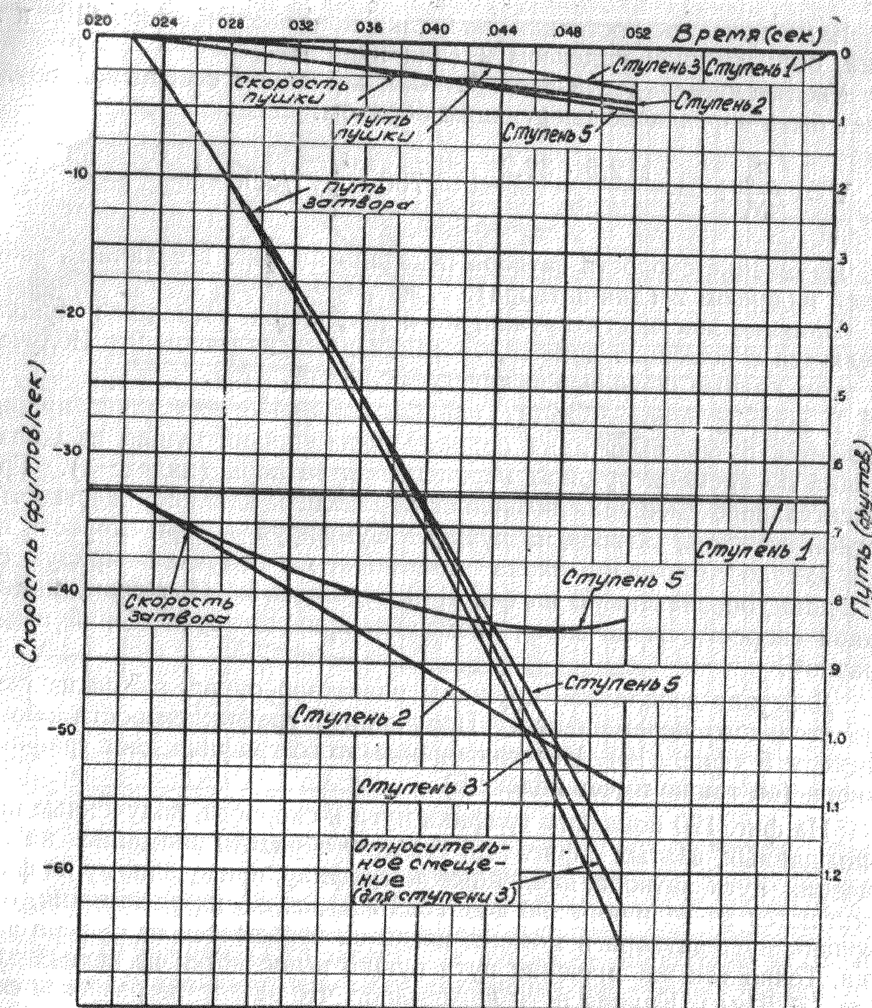
На скорость затвора при движении затвора и пушки вперед оказывает влияние возвратная пружина затвора, а на скорость движения пушки—возвратная пружина затвора и ствольная пружина. Поскольку затвор кинематически не связан со стволом и коробом пушки, усилие возвратной пружины затвора противодействует движению пушки. Характер движения подвижных частей в накате определяется примерно тем же способом, что и при откате.

В первую очередь следует построить графики свободного движения затвора и скорости свободного движения пушки. Первый представляет собой прямую линию с минусовым отсчетом скорости 32.7 фут/сек, второй — прямую, параллельную нулевой оси (фиг. 119). Последовательность этапов расчета должна быть изменена, так как пружины не тормозят движение частей автоматики, а увеличивают их скорость. В начале наката пружина ствола сжата на 1.5 дюйма, и, если пренебречь обычными потерями, предварительное поджатие пружины, необходимое для расчета движения наката,

$$F_{0_1} + K_1 D = 200 + 122{,}5 \cdot 1{,}5 = 383 \text{ фунт } (173 \text{ кг})$$

Если считать, что потеря энергии в пружине составляет 10%, то усилие пружины ствола в начале наката будет равно 345 фунт. Возвратная пружина затвора в начале наката поджата на 10 дюймов и без учета потерь ее усилие

$$F_{0_1} + K_2 D = 25 + 10 \cdot 10 = 125 \text{ фунт } (56{,}6 \text{ кг})$$



Фиг. 119. Действие возвратной пружины затвора и пружины ствола при накате.

Принимая потери энергии в пружине затвора также равными 10%, устанавливаем, что в начале наката возвратная пружина затвора действует на пушку и на затвор с силой 112.5 фунта (51 *кг*). Поскольку при накате затвор кинематически не связан с пушкой, силу возвратной пружины затвора следует вычесть из силы ствольной пружины. Действительное усилие, действующее на пушку, равно 345 — 112.5 = 232.5 фунт. Увеличение скорости пушки под действием этой силы можно определить следующим образом:

$$V = \frac{F_0}{M} t = \frac{232.5 \cdot 32.2}{55} t = 136 t \text{ фут/сек}$$

Изменение скорости наката пушки показано на фиг. 119 в виде линии, обозначенной индексом 2 (для пушки).

Увеличение скорости затвора под действием возвратной пружины может быть определено следующим образом:

$$V = \frac{F_0}{M} t = \frac{112.5 \cdot 32.2}{5} t = 700\, t \text{ фут/сек}$$

Изменение скорости затвора пеказано на фиг. 119 линией, обозначенной индексом 2 (для затвора).

Влияние жесткости пружин на перемещение затвора и пушки определяется с помощью кривых, обозначенных индексом 2. Полученные при этом кривые обозначены индексом 3 (фиг. 119).

В первом приближении смещение затвора относительно пушки определяется путем вычитания ординат перемещения пушки из соответствующих по времени ординат перемещения затвора (индекс 3). График относительного смещения позволяет определить влияние жесткости возвратной пружины затвора на пушку. Суммируя потери скорости пушки из-за жесткости пружин ствола и затвора, мы получаем кривую скорости пушки, обозначенную на фиг. 119 индексом 5. Поскольку изменение кривой скорости очень мало, изменять кривую перемещений нецелесообразно*.

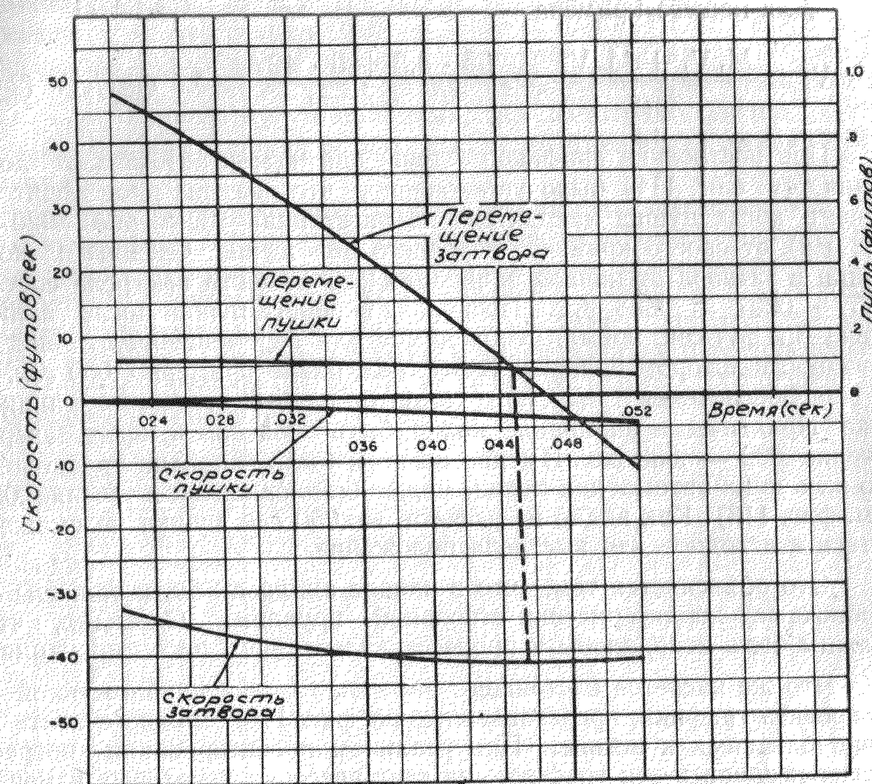
Действие возвратной пружины на затвор определяется из графика относительного перемещения. Полученный график скорости обозначен индексом 5 (фиг. 119). Интегрирование этого графика дает график пути затвора (он также имеет индекс 5).

На фиг. 120 показаны графики пути и скорости, полученные при помощи данных, взятых с фиг. 119. Следует обратить внимание на то, что значения пути затвора, найденные по графику, приведенному на фиг. 119, вычитаются из величины .96 фут (288 *мм*), т. е. из расстояния, определяющего путь затвора в момент, когда он отрывается от буфера затыльника. Точно так же значения пути пушки вычитаются из величины .125 фута (37,5 *мм*). Кривая пути показывает, что затвор встречается со стволом при отметке времени .0448 *сек.* В этот момент затвор движется со

*Поскольку пушка движется вперед, влияние жесткости пружин несколько иное, чем при откате пушки. Потери из-за жесткости пружины ствола нужно вычесть из ординат графика, полученного в соответствии с пунктом 2, а значения увеличения скорости вследствие жесткости возвратной пружины нужно прибавить к ним. Необходимость такой корректировки видна из уравнения, выражающего изменение скорости пушки под влиянием только одной ствольной пружины,

$$\Delta V = \int_{t_1}^{t_2} \frac{F \cdot dt}{M} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{F_0 + K(D - d)}{M} dt$$

где D — полное поджатие пружины в момент начала наката;
d — путь пушки от ее крайнего заднего положения.



Фиг. 120. Продолжение графиков пути и скорости по времени до момента запирания затвора.

скоростью 42 фут/сек (12,6 *м/сек*), а пушка — 3.5 фут/сек (1,05 *м/сек*). Расстояние от крайнего переднего положения подвижных частей до точки их встречи составляет .085 фута (25,4 *мм*).

12. *Движение пушки после запирания затвора*

В момент запирания скорость пушки равна 3.50 фут/сек, а скорость затвора 42.0 фут/сек. Поскольку после запирания затвор и пушка представляют собой одно целое, очевидно, начальная скорость их совместного движения должна быть иной.

Определение этой общей скорости движения основывается на том, что количество движения массы пушки и затвора после удара равно количеству движения массы пушки и затвора до удара, т. е.

$$M_r V_2 = M_1 V_1 + M_2 V_2$$

Для нашего примера

$$V_3 = \frac{M_1 V_1 + M_2 V_2}{M_r} = \frac{55 \cdot 3.5 + 5 \cdot 42}{60} = 6.7 \text{ фут/сек } (2 \textit{ м/сек})$$

При построении графиков движения частей автоматики до запирания (см. фиг. 111) было установлено, что выстрел происходит в тот момент, когда пушка находится на расстоянии примерно .0207 фута (6,2 *мм*) от своего крайнего переднего положения. Следовательно, путь пушки и затвора от начала запирания до момента выстрела составляет .085 — .0207 = .0643 фут. Поскольку скорость пушки после запирания равна 6.7 фут/сек, время, необходимое для перемещения пушки до положения, в котором происходит выстрел, равно примерно .009 *сек.* Однако для обеспечения требуемого темпа стрельбы это время слишком велико. Практически запирание может быть окончено и накат завершен в течение .002 — .003 *сек.* Именно на этом было основано предположение, что весь цикл автоматики пушки может быть закончен в течение .050 *сек.* (см. фиг. 118). Как видно из расчета, за .050 *сек.* пушка не сможет вернуться в исходное для выстрела положение.

Это объясняется тем, что в начале анализа были приняты ориентировочные характеристики ствольной пружины. Очевидно, что они должны быть исправлены в процессе дальнейшего проектирования.

Что же касается настоящего расчета, то для приближенной оценки проекта графики, представленные на фиг. 118, можно считать достаточно близкими к истине. При реальном проектировании потребуется слегка исправить эти графики за счет внесения некоторых изменений в ствольную пружину. При помощи этих графиков можно более точно определить те факторы, которые вызывают необходимость изменения характеристик ствольной пружины. Поскольку время до момента очередного выстрела очень мало, можно с достаточной точностью определить действие ствольной пружины, допуская, что ее среднее усилие будет именно тем усилием, которое имеет место на пути поджатия .04 фута (12 *мм*). Это усилие

$$F_{0_1} + K_1 D = 200 + 122.5 \cdot 12 \cdot .04 = 259 \text{ фунт } (117 \textit{ кг})$$

Тогда увеличение скорости под воздействием этой силы

$$V = \frac{F}{M} t = \frac{259 \cdot 32.2}{60} t = 139 t$$

Средняя скорость в течение некоторого времени после запирания будет равна примерно 7,0 фут/сек (2,1 *м/сек*). Зная эту скорость, определим путь, проходимый пушкой от момента запирания (отметка времени .0448 *сек.*) до момента выстрела (отметка времени .050 *сек*).

$$D = V_{av} \cdot t = 7.00\,(.050 - .0448) = .0364 \text{ фут } (10,9 \textit{ мм})$$

Таким образом, при времени цикла автоматики .050 *сек.* пушка будет находиться на расстоянии .0805 — .0364 = .0441 фут от своего крайнего переднего положения. Скорость, с которой она приходит в это положение, равна 7.3 фут/сек (2,19 *м/сек*). Как уже указывалось, эти величины слегка отличаются от принятых, но достаточно близки к ним. При общем времени цикла в .050 сек. темп стрельбы составит 1200 *выстр/мин.*

В заключение необходимо сказать, что на фиг. 118 приведены графики, полученные для очереди при автоматическом огне. Условия первого выстрела в оружии с ранним воспламенением капсюля требуют особого внимания. Поскольку работа автоматики в этом случае основана на известной скорости наката оружия при выстреле, конструкция заряжающего механизма должна учитывать влияние раннего воспламенения и для первого выстрела. Если это не будет выполнено, то отдача при первом выстреле может оказаться чрезмерно большой*.

*К вопросу получения возможного темпа стрельбы автор подходит с энергетической точки зрения. При анализе газоотводных систем он отмечает, что газоотводный двигатель автоматики обладает неисчерпаемым запасом энергии, позволяющим получить темп стрельбы, исходя из заданных ТТТ по темпу.

Такой подход не является вполне правильным, так как возможности по темпу будут лимитированы прочностными характеристиками таких звеньев автоматики, как, например, патрон, и др. (Прим. ред.)

Глава четвертая

СИСТЕМЫ С МНОГОКАМЕРНЫМИ КАЗЕННИКАМИ, ОСНОВАННЫЕ НА РЕВОЛЬВЕРНОМ ПРИНЦИПЕ

Выше были рассмотрены принципы работы и методика расчета систем автоматического оружия с возвратно-поступательным перемещением затвора, в которых для обеспечения работы автоматики использовалась отдача затвора, отдача ствола и отвод пороховых газов. В настоящее время всеобщее признание получил новый принцип построения автоматического оружия, так называемый револьверный, существенно отличающийся от описанных выше и требующий отдельного тщательного анализа.

Различие между револьверным оружием и оружием с возвратно-поступательным перемещением затвора заключается в последовательности этапов автоматического цикла и в конструктивных особенностях механизмов автоматики.

Таким образом, предлагаемая классификация автоматического оружия с учетом разделения на две обособленные группы — револьверного оружия и оружия с возвратно-поступательным движением затвора — несколько отличается от классификации, данной выше. В трех предыдущих главах основное внимание уделялось вопросу, каким образом энергия порохового заряда используется для обеспечения работы механизма автоматики. При рассмотрении всех трех основных систем принимались во внимание кинематические связи, характерные для возвратно-поступательного движения затвора. Так как каждая из этих систем может быть использована для револьверного оружия, специально рассчитывать их нецелесообразно. Гораздо полезнее рассмотреть некоторые специфические проблемы, связанные с проектированием и анализом револьверного оружия.

I. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ РЕВОЛЬВЕРНОГО ОРУЖИЯ

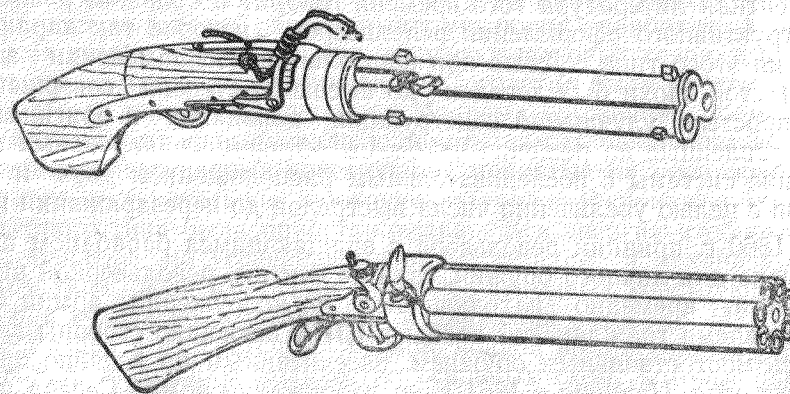
Прежде чем перейти к описанию и анализу систем револьверного типа, следует кратко остановиться на истории возникновения этого оружия, что позволит более ясно представить себе причины, которые привели к внедрению револьверного оружия в современные армии, и поможет установить связь между ними и системами с возвратно-поступательным перемещением затвора.

Уже в начале XIV столетия, когда впервые начали применять огнестрельное оружие, были сделаны попытки создать скорострельные образцы.

Скорострельности пытались достичь путем создания многоствольного оружия, в котором воспламенение заряда можно было производить как одновременно во всех стволах, так и в каждом из них поочередно. Хотя такое оружие было оригинально, его исключительно большой вес и неудобство в эксплуатации заставили отказаться от его применения.

В течение XV и XVI столетий всевозможные попытки создать многоствольные типы оружия не привели к особым успехам. Добились лишь некоторого уменьшения габаритов оружия, располагая стволы по окружности вокруг одной оси, а не на плоской лафетной установке. То, что все стволы имели общую ось вращения, позволяло подводить каждый ствол к единому стреляющему устройству для производства выстрела в одном, определенном положении. В течение XVI, XVII и XVIII столетий было сконструировано достаточно много подобных систем с использованием фитильных, колесцовых и кремневых замков. Хотя ни один из этих образцов не получил сколько-нибудь широкого распространения, тем не менее именно они определили в конечном итоге тип револьверного оружия.

На фиг. 121 вверху показан внешний вид трехствольной системы с общим фитильным замком. Внизу изображен семиствольный образец оружия с кремневым замком. В этой системе выстрел мог быть произведен только в том случае, если запал совпадал с каналом очередного ствола.



Фиг. 121. Револьверное оружие с фитильным и кремневым замками.

В тот период оружейники изобрели устройство, которое было прототипом современных револьверных систем. Чтобы устранить многоствольность, казенную часть оружия начали выполнять в виде вращающегося цилиндра с несколькими камерами для пороха и пуль, заряжавшимися раздельно. Цилиндр мог вращаться и последовательно подводить

каждый заряд к каналу ствола. Важность этого изобретения заключалась в том, что впервые удалось значительно поднять скорострельность оружия и одновременно сохранить в известной степени габаритные размеры оружия обычного типа.

В течение XVIII столетия было сделано несколько усовершенствований револьверного оружия, в частности создано механическое приспособление для проворота барабана и разработаны устройства, предохраняющие от прорыва пороховых газов в зазор между торцем ствола и торцем барабана. Много сделал в этой области американский изобретатель Коллиер, один из револьверов которого был принят на вооружение английской армии в Индии. Существенным недостатком этого револьвера было то, что он имел кремневый замок, мало пригодный для скорострельного оружия. Лишь в начале XIX столетия появление капсюлей привело к быстрому развитию револьверного оружия, так как обеспечило резкое увеличение его практической скорострельности. Применение капсюля полностью освободило конструкторов от необходимости придумывать сложные системы воспламенения порохового заряда.

1830 г. С. Кольт создал первый револьверный механизм с капсюльным воспламенением, автоматическим поворотом и запиранием барабана от взвода курка. Это открыло путь для многих изобретений в области конструирования револьверного оружия. В течение 40—50 лет после изобретения Кольта, револьверы переживали эпоху расцвета. Несмотря на некоторые неудобства капсюльных средств воспламенения заряда и заряжания с дула, изобретатели и оружейные мастера той эпохи создали почти все возможные конструкции револьверных механизмов.

Патентная литература того времени говорит о большом разнообразии конструктивного оформления револьверов, которое так характерно для оружия этого типа. Даже при капсюльном воспламенении заряда револьвер той эпохи был доведен до высокой степени совершенства. Помимо простых улучшений конструкции, появились и оригинальные идеи, направленные на решение проблемы обтюрации пороховых газов, на создание системы с последовательным расположением двух и более барабанов с целью увеличения числа выстрелов до перезаряжания и т. д.

До 1860 г. принцип револьвера с вращающимся барабаном применялся только для личного оружия, если не считать револьверной винтовки С. Кольта, временно находившейся на вооружении армии США. Однако во время гражданской войны в США воюющие стороны заинтересовались многоствольным оружием, рассчитанным на ведение продолжительного огня. Начиная с 1861 г. на вооружении армий Севера и Юга появляются различные скорострельные образцы оружия. Некоторые из этих образцов принадлежали к типу батарейных установок с горизонтальным расположением ряда стволов, другие имели затворы возвратно-поступательного типа или были основаны на револьверном принципе. Самым замечательным типом такого оружия, безусловно, был пулемет Гатлинга, который принадлежит к типу скорострельного оружия с блоком стволов, вращающихся вокруг общей оси и приводимых в движение при помощи рукоятки с зубчатой передачей. Эта конструкция была настолько проста и надежна, что до конца XIX столетия пользовалась исключительной популярностью и была принята на вооружение в ряде армий, в частности в США до 1911 г.

Появление пулемета Гатлинга и унитарного патрона вызвали новый подъем в конструировании оружия. Пулемет быстро завоевал популярность и изобретатели всего мира начали создавать новые образцы оружия этого типа. Многие из этих образцов работали на револьверном принципе, но применялось также и оружие с возвратно-поступательным движением затвора. Все системы имели ручной привод. Хотя в то время считалось, что новые образцы настолько совершенны, что улучшить их невозможно, эпоха скорострельного оружия этого типа уже подходила к концу. В 1883 г. X. Максим изобрел свой автоматический пулемет.

После появления пулемета системы Максима буквально все изобретения в области конструирования стрелкового оружия преследуют цель наиболее полной автоматизации оружия. Как известно, пулемет Максима использует для работы автоматики отдачу ствола. Вскоре были созданы новые образцы оружия, построенные на иных принципах автоматики. Так, в 1888 г. появилась система Шкода, в которой для работы автоматики использовалась замедленная отдача затвора. В 1890 г. Д. Браунинг выпустил удачную конструкцию пулемета с отводом пороховых газов. С тех пор все эти три системы автоматики неоднократно использовались для создания образцов оружия самого различного типа и назначения.

Особенно важно отметить, что все автоматические системы того времени имели затворы возвратно-поступательного типа. Очевидно, возвратно-поступательный затворный механизм наиболее приспособлен для всех систем, использующих энергию пороховых газов, и в силу этого почти все системы оружия начала XX столетия были простыми и надежными. После появления пулемета Максима оружейная промышленность всех ведущих стран выпускала пулеметы самых различных конструкций. И все наиболее удачные конструкции, принятые на вооружение, имели возвратно-поступательное движение затвора. Разработка образцов револьверного типа была приостановлена. Вся энергия изобретателей была направлена на усовершенствование деталей и механизмов оружия первого типа и на изыскание наиболее выгодных конструкций автоматики при возвратно-поступательном движении затвора. Из тысяч опытных образцов и изобретений в конце концов выкристаллизировалось относительно небольшое количество основных схем, которые практически доказали свои высокие качества как в процессе испытаний, так и в боевых условиях и заслужили высокую оценку. Как только такой отбор был завершен, наступил период постепенного усовершенствования этих схем и образцов, основанных на этих схемах. Многие из отработанных таким путем образцов были достаточно мощны, эффективны, просты в эксплуатации и рассчитаны на массовое производство с минимальными расходами и вполне соответствовали требованиям своей эпохи.

В XX веке значительные успехи были достигнуты в области военного самолетостроения, и это обстоятельство поставило перед военной

промышленностью новую сложную задачу. Условия воздушного боя потребовали от оружия резкого улучшения баллистических характеристик, в частности увеличения начальной скорости снаряда, калибра авиационного оружия и темпа стрельбы. В связи с этим темпы развития авиационного автоматического оружия резко возросли. Его калибры были доведены до размеров, которые ранее считались пригодными только для наземной артиллерии, а темп стрельбы авиационных пушек даже превысил темп стрельбы авиационных пулеметов винтовочного калибра. Несмотря на эти очевидные успехи, требования к дальнейшему увеличению темпа стрельбы и мощности оружия непрерывно возрастали, и в конце концов стало ясно, что всякое дальнейшее усовершенствование имевшихся систем дается с очень большим трудом. По мнению многих специалистов-оружейников и артиллеристов, при современном состоянии развития технологии и металлургии, обычная авиационная автоматическая система с возвратно-поступательным движением затвора или уже исчерпала свои потенциальные возможности или очень близка к этому. Это не означает, конечно, что дальнейшее усовершенствование вообще невозможно, особенно если речь идет об улучшении надежности работы автоматики, упрощении обслуживания в процессе эксплуатации или технологии изготовления системы. Но это означало, что динамические характеристики механизма с возвратно-поступательным движением затвора не могут уже обеспечить темп стрельбы, значительно превышающий темп состоящих на вооружении систем этого типа.

Все эти конструктивные затруднения были ясны уже во время второй мировой войны, и германские ВВС в 1942 г. предъявили новые тактико-технические требования к проектированию авиационной скорострельной 20-*мм* пушки с повышенной начальной скоростью снаряда. Немецкие конструкторы обратились к револьверному принципу и начали проектирование и отработку 20-*мм* авиационной пушки револьверного типа с отводом пороховых газов. Первая модель автоматической револьверной пушки, в которой барабан заряжался во время стрельбы, была создана и прошла успешные испытания в 1943 г. К моменту поражения Германии было изготовлено лишь несколько опытных образцов этой пушки.

В настоящее время револьверные системы автоматического оружия пользуются не меньшей популярностью, чем системы обычного типа. Многие конструкторы-оружейники считают, что револьверное оружие при правильном подходе к его проектированию может быть значительно улучшено, особенно в отношении темпа стрельбы.

Интересно отметить, что немецкая программа по отработке оружия револьверного типа не была оригинальной, так как принципы построения револьверного автоматического оружия были известны очень давно, но о них успели забыть задолго до начала второй мировой войны. Впервые револьверный принцип был применен для крупнокалиберного оружия в 1718 г. англичанином Д. Пэклом. Во время гражданской войны с США в 1862 г. также была предложена револьверная система, сильно напоминающая по конструкции последние образцы автоматических авиационных пушек. Это был пулемет Де-Брама с ручным приводом.

Но наиболее интересным предшественником немецкой револьверной пушки было оружие, запатентованное в США в 1905 г. Кларком. Эта система принадлежит к револьверному типу с автоматикой, работающей на принципе отвода пороховых газов, причем проворот барабана осуществляется при помощи ползуна, связанного с газовым поршнем. Система Кларка имеет ленточную подачу с принудительным досыланием патронов в патронники барабана и все основные особенности ее конструкции повторяются в немецкой системе и в последующих образцах оружия этого типа. Образец Кларка оказался настолько характерен для систем револьверного типа, что мы решили привести его схему для иллюстрации в настоящей главе книги. Вызывает удивление вопрос, почему проект Кларка в течение почти 40 лет пролежал под спудом. Возможно, что его изобретение, появившееся в 1905 г., оказалось просто несвоевременным, поскольку как раз в это время системы Максима, Браунинга и др. были особенно популярны. Весь мир был настолько поглощен успехами этих, по тем временам выдающихся образцов, что пулемет Кларка просто остался незамеченным.

Из всего сказанного выше очевидно, что револьверное оружие на всем протяжении истории развития огнестрельного оружия то становилось популярным, благодаря ряду своих преимуществ, то отвергалось вследствие некоторых недостатков.

Револьверная система автоматики имеет ряд значительных преимуществ. Наиболее важным из них является простота принципа его работы. Кроме того, механизм револьверного оружия отличается прочностью и живучестью и допускает принудительное перемещение патронов в механизме пушки. К сожалению, револьверные системы обладают также и недостатками, из которых одни малозначимы, а другие довольно серьезны. В процессе приводимого ниже анализа рассмотрены основные принципы построения револьверной системы и ее главные технические и оперативные характеристики. Одновременно будет сделана попытка разрешить те проблемы, которые встречаются при проектировании полностью автоматизированной револьверной пушки.

II. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОКАМЕРНОГО ОРУЖИЯ

Термин ***револьвер*** обычно применяется к комплексу механизмов современного личного оружия. Это оружие состоит из вращающегося барабана со многими патронными камерами, жестко укрепленного в рамке ствола. Крепление барабана в рамке рассчитано на его проворот вокруг центральной оси с обеспечением последовательного подведения каждого из патронников к казенной части ствола при достаточно строгом совпадении осей. Очевидно, что термин револьвер связан с вращением барабана для ускорения практической скорострельности. Однако следует более точно оценить свойства этого механизма и более правильно представить себе принцип его работы.

Если мы отбросим второстепенные факторы, то увидим, что основное свойство такого механизма заключается в том, что при его работе каждый патронник подводится к положению выстрела перемещением в направлении перпендикулярном оси канала ствола. Именно это боковое смещение патронника является тем характерным для данного механизма движением, которое мы считаем основным для любого многокамерного оружия; причем оружие с вращающимся многокамерным казенником является лишь одной из многих форм оружия многокамерного типа.

Учитывая, что основной принцип многокамерного оружия является базой для создания любой системы револьверного типа, нам следует кратко исследовать общий характер механизмов, подлежащих включению в этот класс. Наиболее элементарным типом многокамерного оружия является ***батарейное*** оружие, состоящее, как известно, из установки, на которой монтируется определенное количество не связанных друг с другом стволов. Очевидно, что такое оружие нельзя назвать механизмом в буквальном смысле этого слова, так как единственная функция этого механизма — одновременное или почти одновременное воспламенение зарядов во всех стволах.

Оружием более совершенного типа явились системы, известные теперь под названием двустволок или тройников, т. е. системы, состоящие из двух или более стволов, объединенных на одной ложе, но не связанных между собой каким-либо механизмом. Хотя обычная батарейка или двуствольное охотничье ружье настолько просты по своей схеме, что не требуют каких-либо дополнительных объяснений, однако при рассмотрении некоторых образцов, построенных на этом принципе, можно осветить некоторые очень интересные моменты.

Одной из наиболее старинных конструктивных форм многокамерного оружия, которая неоднократно использовалась с большим или меньшим успехом, является оружие с блоком из нескольких связанных друг с другом стволов. Основная выгода такой конструкции заключается в том, что один механизм приведения оружия в действие используется для всех стволов. Это означает, что эффективность оружия, если судить о ней лишь по скорострельности, может быть увеличена только за счет увеличения количества стволов без усложнения этого механизма или без значительного увеличения размеров установки.

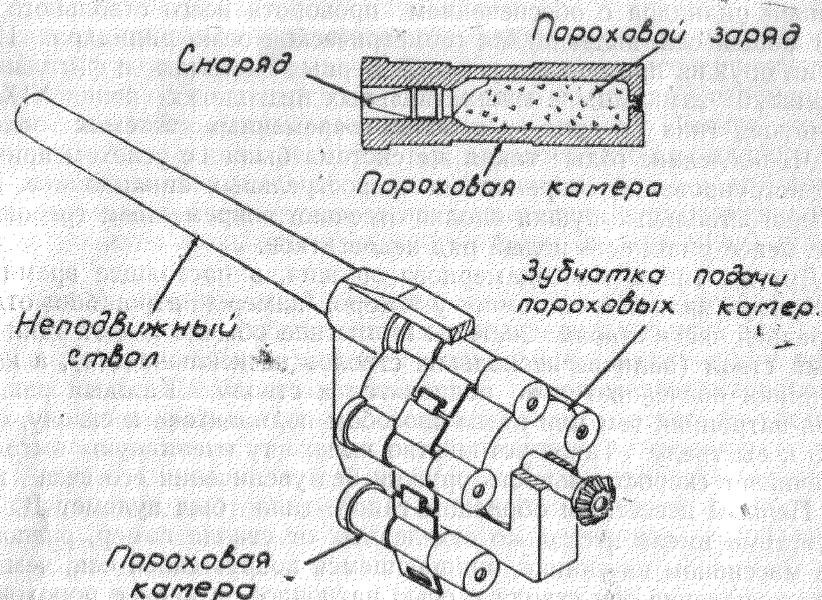
Конструкция оружия этого класса целиком зависит от того, как связаны между собою детали, назначением которых является обслуживание отдельных стволов общим механизмом. При этом могут быть установлены два основных типа движения: или стволы неподвижны, а механизм, обеспечивающий стрельбу, последовательно подводится к каждому из этих стволов, или, наоборот (что встречается чаще), механизм оружия неподвижен, а стволы последовательно перемещаются относительно его. В некоторых образцах оружия стволы располагаются параллельно в одной плоскости и перемещаются механизмом в положение выстрела. Правда, такие системы не нашли широкого применения ввиду явного их неудобства. Более выгодным оказалось расположение стволов по образующей цилиндра с обеспечением проворота всего ствольного блока вокруг общей оси, являющейся геометрической осью цилиндра. Именно этот тип оружия применялся в самых первых системах с фитильными и кремневыми замками, в многоствольных пистолетах конца XIX в., в картечницах типа Гатлинг и в более современных системах подобного типа. В последние годы такая же система была с успехом применена для конструирования современных скорострельных авиационных пушек. Хотя многоствольные пушки вполне отвечают современным требованиям, тем не менее у них есть целый ряд недостатков.

Другим типом многокамерного оружия, в настоящее время очень популярным, является система, у которой камеры-патронники отделены от передней части ствола. Системы этого типа обычно имеют один неподвижный ствол (наличие нескольких стволов не исключается), а камеры-патронники последовательно подводятся к стволу. Каждый раз, когда камера-патронник тем или иным способом подводится к стволу, оружие готово к выстрелу. Такое устройство имеет ту очевидную выгоду, что обеспечивает скорострельность оружия без увеличения его веса и габарита. Первым известным образцом такого типа был пулемет Д. Пэкла. Эта система имела несколько отделенных от ствола камер, расположенных в массивном казеннике, вращающемся вокруг своей оси, чем достигалось совпадение оси ствола с осью патронной, а вернее пороховой камеры. Камеры заряжались по мере вращения барабанного казенника, приводимого в действие кривошипной рукояткой; заряды воспламенялись от медленно горящего фитиля.

Идея создания оружия с одним стволом и несколькими пороховыми камерами использовалась неоднократно. В большинстве случаев зарядные камеры находились в массивном казеннике. Такое устройство так часто повторялось в различных конструкциях, что револьверным стали называть всякое оружие многокамерного типа. Однако следует отметить, что барабан современного револьвера является лишь одной из многих конструктивных форм многокамерного оружия.

В середине XIX в. в США был создан многокамерный пулемет, названный «Кофейной мельницей» Эгера. В этой системе пороховой заряд и пули укладывались в отдельную стальную камеру, представлявшую собой некоторое подобие патрона с гнездом под капсюль и в то же время служившую в качестве патронника, в котором происходило сгорание порохового заряда. При стрельбе некоторое количество таких полностью заряженных камер размещалось в бункере на верхней части пулемета. По мере вращения рукоятки камеры одна за другой проваливались в гнездо, находящееся в задней части пулемета.

На фиг. 122 изображена упрощенная схема этой конструкции. Зубчатка, приводимая в движение рукояткой, через систему зубчатых конических колес подает камеру, связанную стальной шарнирной лентой с другими камерами, к стволу. В момент выстрела камера подпирается сзади стенкой рамы, образующей плоскость затвора и служащей для размещения ударного механизма. При повороте рукоятки в конце ее движения, т. е. в тот момент, когда камера находится против канала ство-

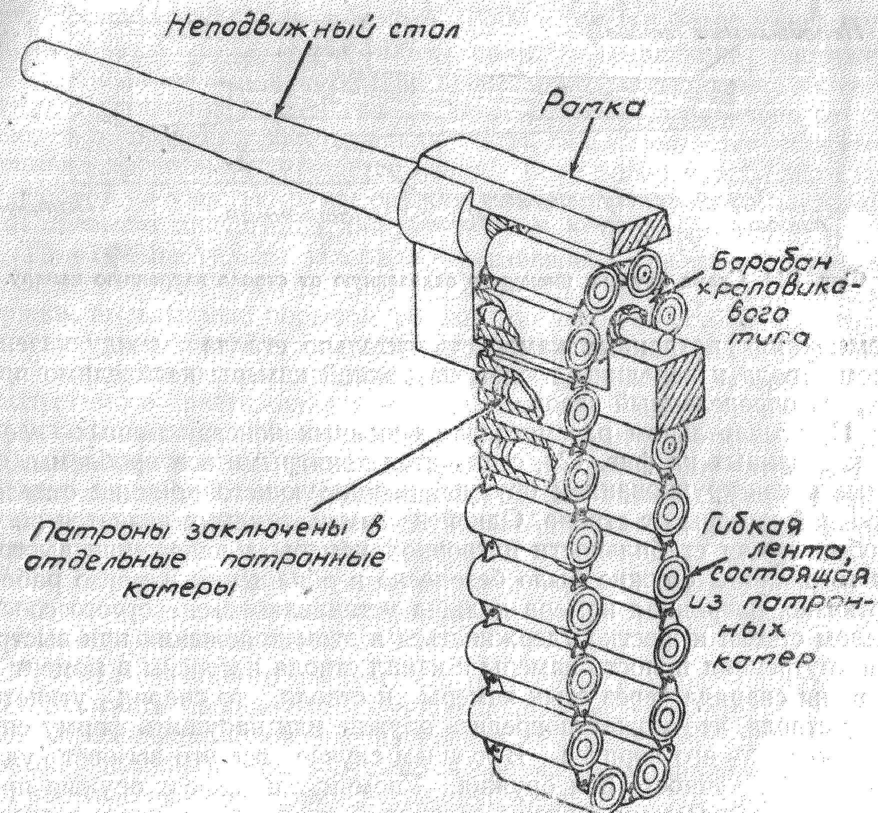


Фиг. 122. Схема оружия с отдельными патронными камерами.

ла, автоматически производится выстрел. При новом повороте рукоятки камера, из которой произведен выстрел, сходит с оси канала ствола, а ее место занимает новая камера.

Другой уникальной конструкцией пулемета многокамерного типа с камерой, отделенной от ствола, является система, разработанная в конце XIX в. Хотя эта система была применена для оружия малого калибра, она с успехом может быть использована и для оружия более крупного калибра. Система имела ленточное питание, рассчитанное на боекомплект в 20 патронов и стреляла унитарными патронами. Лента, состоящая из отдельных камер, связанных при помощи шарнирных звеньев, была замкнута в кольцо наподобие велосипедной цепи (фиг. 123). При стрельбе храповой цилиндр, заключенный в раме, протаскивал ленту вбок, обеспечивая таким образом совмещение оси канала ствола с осью очередной патронной камеры. Перед выстрелом механизм пулемета надежно фиксировал камеру, упиравшуюся сзади в рамку пулемета. Очевидно, что такая конструкция вполне рациональна и может быть использована при создании автоматического оружия даже относительно крупного калибра.

Из всего сказанного следует, что в многокамерном оружии решение вопроса его питания боеприпасами сведено к предварительному снаряжению патронных камер с последующей досылкой их в исходное для выстрела положение, в котором они как бы составляют часть ствола. При этом мы не учитываем тип механизма, подводящего патронные камеры к стволу.

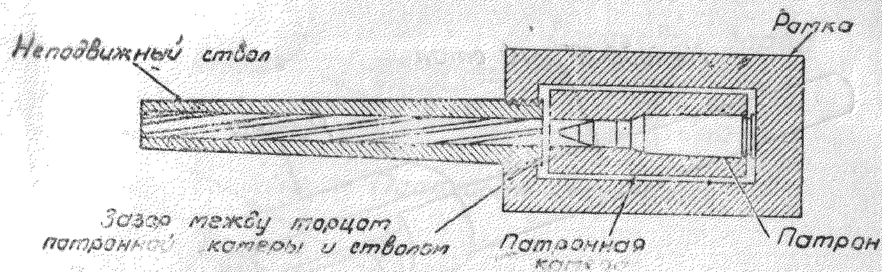


Фиг. 123. Механизм многокамерного оружия с ленточным питанием непрерывного типа.

Рассмотрим конструкцию оружия, у которого патронные камеры отделены от ствола.

Все приводимые ниже рассуждения относятся к автоматическому оружию с патронами современной конструкции. Пулеметы и пушки с внешним приводом в настоящем труде не рассматриваются.

Основные элементы оружия, имеющего отделенные от ствола патронные камеры, схематически изображены на фиг. 124. Внутренняя полость патронной камеры должна обеспечивать размещение в ней патрона, а ее стенки должны быть достаточно прочными, чтобы выдержать давление пороховых газов. Ствол оружия неподвижно закрепляется в жесткой раме, которая должна прочно удерживать патронную камеру в тот момент, когда ее ось смещается с осью ствола. Необходимо предусмотреть механизм для последовательной подачи патронных камер в положение выстрела и механизм для воспламенения порохового заряда. Для



Фиг. 124. Схема оружия, имеющего отделенную от ствола патронную камеру.

перемещения патронных камер относительно ствола между казенным срезом ствола и передним торцем патронной камеры необходимо предусмотреть определенный зазор.

При тщательном рассмотрении основных конструктивных элементов, показанных на фиг. 124, становятся понятными все проблемы, связанные с конструированием оружия, использующего принцип отделения патронной камеры от ствола. Одной из самых трудных является проблема обеспечения стабильности патронной камеры в положении выстрела. Для того, чтобы оружие было безопасно в обращении и могло работать безотказно, патронная камера должна устанавливаться строго соосно с каналом ствола и жестко удерживаться в этом положении при выстреле. Если внутренняя полость камеры и канал ствола несоосны в момент прохождения снаряда через стык камеры и ствола, то снаряд уткнется в стенку ствола, что может повредить оружие или нарушить форму снаряда и прочность его корпуса. В лучшем случае все это вызовет удары, нарушающие кучность боя оружия. Упомянутый дефект оружия приводит к так называемому «снятию свинцовой стружки» и часто встречается в изношенных или плохо изготовленных револьверах.

Чрезвычайно важно также обеспечить надлежащий зазор между затворной плоскостью рамы оружия и основанием патрона в тот момент, когда патрон полностью дослан в патронную камеру. Если дно патрона слишком далеко выходит за обрез патронной камеры, то оно может мешать продвижению последней в положение выстрела, вызывая тем самым задержку стрельбы. Если зазор между основанием патрона и затворной плоскостью рамы слишком велик, то это может привести к другому дефекту. При воспламенении порохового заряда сила давления пороховых газов, действуя внутри камеры, вызывает раздутие гильзы и стремится сдвинуть ее назад. Скорость нарастания давления настолько велика, что стенки гильзы плотно прижимаются к стенкам патронной камеры еще до того, как гильза, стремясь сдвинуться назад, выберет имеющийся зазор. Контактирующее давление между стенками гильзы и патронной камеры настолько велико, что силы трения, возникающие при этом, вызывают зажатие передней части гильзы в патроннике. Если в этот момент дно гильзы не подпирается сзади жесткой рамой оружия, то давление внутри патронной камеры передается на дно гильзы и вызывает

растяжение ее стенок. Поскольку давление внутри патронной камеры может достигать 50000 фунт/дюйм² (3500 *кг/см²*) и более и действует на значительную площадь дна гильзы, силы, вызывающие растяжение тонких стенок гильзы, значительно превосходят по величине их сопротивление. Растяжение стенок гильзы не может быть ограничено ее прочностью, и в то время, как передняя часть гильзы остается зажатой в патроннике, дно гильзы смещается назад. Если зазор между дном гильзы и опорной плоскостью рамы оружия чрезмерно велик, то растяжение гильзы превысит допустимое для нее удлинение и обрыв гильзы неизбежен. При обрыве гильзы задержка неизбежна, так как оборванную часть гильзы нельзя извлечь обычным способом из патронной камеры. Задержки, вызываемые обрывом гильзы, могут быть устранены только за счет жесткого контроля за величиной зазора между дном патрона и опорной плоскостью рамы; нельзя допускать увеличения зазора за предел допустимого растяжения материала гильзы. Зазор должен быть точно установлен при проектировании в зависимости от предельной величины зеркального зазора, нельзя допускать движения патронной камеры вперед под действием давления пороховых газов. Очевидно также, что и рама оружия должна быть достаточно жесткой во избежание чрезмерных упругих деформаций при выстреле. В противном случае может произойти обрыв гильзы. Растяжение рамы под действием давления, передаваемого через дно гильзы, приводит к тем же последствиям, что и чрезмерный зеркальный зазор.

Из всего сказанного следует, что патронная камера при выстреле должна занимать вполне определенное положение относительно канала ствола. Продольное положение патронной камеры также должно быть вполне определенным; не допускается чрезмерного зеркального зазора. Зазор, вызываемый смещением патронной камеры вперед и упругой деформацией рамы или коробки, также может привести к резкому увеличению зеркального зазора.

Следующим очень важным вопросом является вопрос, связанный с прилеганием торца патронной камеры к казенному срезу ствола, что является одним из самых серьезных и трудных моментов при проектировании мощных с точки зрения баллистики образцов оружия. Особенно сложно это в том случае, если патронная камера выполняет по отношению к неподвижному стволу какие-либо сложные перемещения с несколькими степенями свободы. Даже если патронные камеры просто перемещаются в боковом направлении для того, чтобы занять при выстреле положение, соосное с каналом ствола, то и в этом случае такое движение возможно только при наличии соответствующего зазора между торцем ствола и торцем патронной камеры. Следовательно, ствол, состоящий из неподвижной части и подвижной патронной камеры, разделен зазором, показанным на фиг. 124. Разумеется, в действительности этот зазор по своим размерам меньше зазора, изображенного на схеме, но он есть даже у хорошо отлаженного револьвера. Хотя такой зазор и невелик, все же, если учесть его площадь по всей окружности канала ствола, то получится значительная величина.

Для некоторых категорий оружия, например для револьвера, наличие такого зазора совершенно безопасно. В таком оружии давление пороховых газов, как правило, относительно низкое, и поэтому прорыв газов в зазор между барабаном и срезом ствола не повреждает оружия и не уменьшает начальной скорости пули. В мощном же крупнокалиберном оружии с большой начальной скоростью снаряда, например в авиационной пушке, давление пороховых газов при прохождении снаряда по каналу ствола очень велико и снаряд находится в зоне зазора именно в тот момент, когда оно достигает максимальной величины 50000 фунт/дюйм². При таком давлении малейший зазор между казенной частью ствола и торцем патронной камеры приводит к интенсивному прорыву пороховых газов, а следовательно, и к изменению начальной скорости снаряда. Кроме того, зазор находится недалеко от зоны патронника и пороховые газы в момент прорыва имеют очень высокую температуру и скорость. Поэтому их размывающее действие будет настолько активным, что оружие в целом или его ствол быстро выйдут из строя.

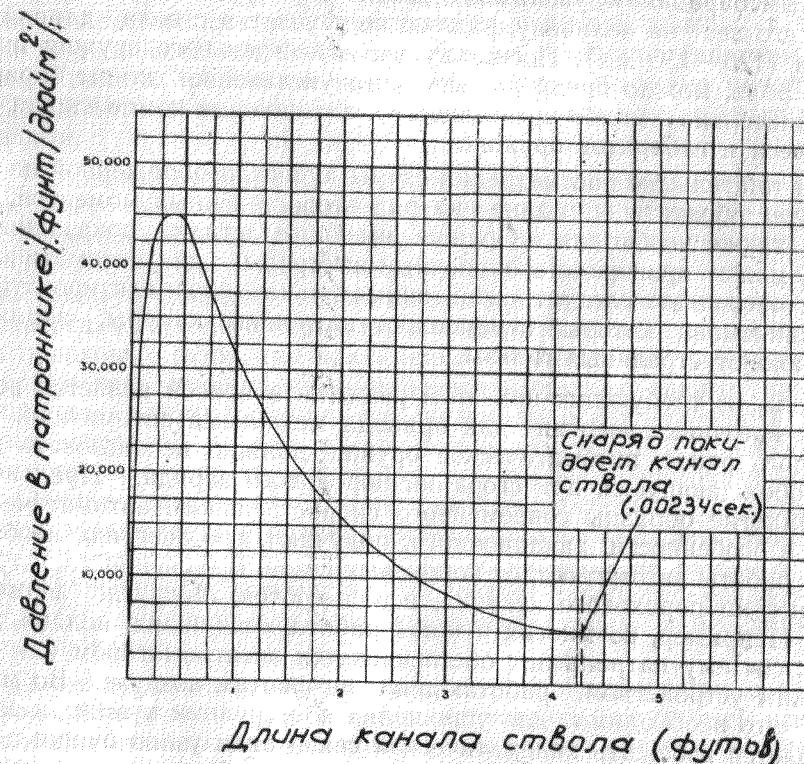
Необходимость разрешения проблемы обтюрации зазора между стволом и патронной камерой заставила конструкторов многокамерного оружия разработать различные приспособления для ликвидации прорыва газов и для устранения его вредных последствий. Даже при создании первых образцов многокамерного оружия с кремневыми затворами были сделаны попытки обтюрации зазора между каналом ствола и торцем патронной камеры путем досылки патронной камеры вперед при помощи специального кулачкового механизма. Для того чтобы усилить уплотняющий эффект, патронные камеры выполнялись со специальными выточками, точно прилегавшими к казенной части ствола оружия. Следует отметить, что такое устройство применялось на различных системах с револьверными механизмами до последнего времени.

Другой метод, также применявшийся с успехом, состоял в том, что дульце патрона во время выстрела перекрывало зазор между стволом и патронной камерой, входя в расточку канала ствола. Поскольку зазор между стволом и патронной камерой сравнительно мал, гильза достаточно надежно удерживается стенками патронника и ствола, выдерживая даже максимальное давление пороховых газов. Несмотря на то, что такой метод действительно очень эффективен с точки зрения преодоления прорыва пороховых газов, то обстоятельство, что часть патрона выходит за пределы патронной камеры и заходит в ствол, вызывает необходимость продольного перемещения патронной камеры или самого патрона с тем, чтобы обеспечить возможность проворота и установки патронной камеры в положение выстрела.

Другой метод, очень часто используемый в современном мощном авиационном оружии многокамерного типа, заключается в применении поршневого обтюратора или обтюрирующей втулки, находящейся в передней части патронной камеры. Обтюратор имеет форму полого цилиндра, причем его внутренняя полость рассчитана на перемещение в ней снаряда. Поршень свободно скользит в гнездах патронной камеры. Для улучшения обтюрации на поршнях используются стальные поршне-

вые кольца, препятствующие утечке пороховых газов. Как только задний обрез ведущего пояска снаряда минует зазор между задним торцем поршня и краем гнезда под поршнем в патронной камере, пороховые газы прорываются в образовавшуюся полость и смещают поршень вперед. До того момента, когда снаряд дойдет до зазора между казенной частью ствола и передним торцем обтирующего поршня, давление внутри патронной камеры прижимает поршень к торцу ствола с силой, обеспечивающей полную обтюрацию зазора.

Одним из факторов, значительно влияющих на обтюрацию зазора, является длина элемента, в котором расположена камера патронника. На фиг. 125 представлен график, показывающий, как изменяется давление пороховых газов в патроннике при различных положениях снаряда



Фиг. 125. График изменения давления пороховых газов в патроннике в зависимости от пути снаряда по каналу ствола.

в канале ствола 20-*мм* авиационной пушки. В момент, когда снаряд продвинется по каналу ствола на 4 дюйма (102 *мм*), давление пороховых газов в канале ствола достигнет своего максимального значения 45000 фунт/дюйм² (3160 *кг/см²*). Когда снаряд продвинется на 8 дюймов, давление понизится до 38000 фунт/дюйм² (2670 *кг/см²*). При продвижении

снаряда на 12 дюймов давление понизится до 30000 фунт/дюйм² (2100 *кг/см²*), а при продвижении на 18 дюймов будет равно 21000 фунт/дюйм² (1470 *кг/см²*), т. е. половине величины максимального давления. Таким образом для улучшения обтюрации нужно так удлинить деталь, несущую патронную камеру, чтобы обеспечить снаряду в камере возможно больший путь до момента, когда он достигнет зазора на участке разъема ствола и патронной камеры. Очевидно, что таким сравнительно простым методом можно уменьшить давление пороховых газов в зоне зазора и тем самым улучшить обтюрацию. Однако, хотя каждый дюйм движения снаряда по патронной камере упрощает решение вопроса обтюрации, увеличение веса подвижной детали, в которой расположены патронные камеры, ограничивает длину последних. Например, в револьвере с шестигнездным барабаном, увеличение длины барабана на один дюйм увеличивает его вес на величину, равную весу участка ствола длиной 4.7-6 дюймов (120—150 *мм*). Поскольку вес огнестрельного оружия играет большую роль, можно предположить, что увеличение длины барабана дает сравнительно малое преимущество, которое не компенсирует увеличение веса и габаритов оружия.

При тщательном рассмотрении схемы пушки, изображенной на фиг. 124, следует обратить внимание на ряд второстепенных моментов, учет которых также необходим. Оружие, имеющее детали, показанные на фиг. 124, может производить одиночные выстрелы; для автоматической стрельбы очередями следует очень внимательно проанализировать работу механизмов, которые перемещают патронные камеры, заряжают их и отражают стреляные гильзы.

Одним из требующих при этом решения вопросов является вопрос о выборе источника энергии для привода механизма автоматики. Как указывалось ранее, автоматическое оружие должно использовать энергию, освобождающуюся при сгорании порохового заряда. Практически очень немногие образцы современного скорострельного автоматического оружия, в особенности, авиационного, получают всю энергию, необходимую для работы автоматики, от пороховых газов. В большинстве случаев, кроме энергии порохового заряда, используются и другие источники энергии. Например, во многих пушках работа механизмов подачи, снабжающих систему патронами, обеспечивается электромотором или пневматическим устройством, работающим на сжатом воздухе. Во многих случаях это необходимо для упрощения конструкции пушки и за счет этого удается избежать кинематической связи ряда узлов пушки с ведущей деталью автоматики. Часто применение постороннего источника энергии для обеспечения подачи вызывается стремлением освободить подвижные части пушки от лишней нагрузки. В этом случае подвижные части могут перемещаться с большой скоростью, вследствие чего резко увеличивается темп стрельбы.

В большинстве современных авиационных пушек энергия, необходимая для производства выстрела, берется не от подвижных частей автоматики, а от электрической бортовой сети самолета, причем применяется электровоспламенение патронов. Заряжание оружия также производится за счет внешнего источника энергии. Устройство механизма перезарядки современного типа позволяет использовать для перезарядки системы энергию пороховых газов, получаемую при воспламенении заряда дополнительного патрона малого калибра, размещенного на пушке или на установке.

Несмотря на то, что посторонние источники энергии широко применяются для работы автоматического оружия, само оружие остается в классе автоматических систем, поскольку ведущий механизм оружия продолжает использовать энергию порохового заряда. В автоматическом оружии с разделением патронника и ствола, как это показано на фиг. 124, энергия порохового заряда должна быть использована для перемещения детали или узла, содержащего подвижные патронные камеры, независимо от того, расположены ли эти камеры в массивном блоке или являются отдельными деталями, подвижно связанными между собою. Если это требование не выполнено, то оружие не может быть отнесено к автоматическому, а будет моторным или с иным внешним приводом.

Различные системы автоматики, использующие энергию пороховых газов, могут быть применены как для оружия с возвратно-поступательным движением затвора, так и для оружия с многокамерным казенником. Все удачные автоматические системы многокамерного типа, созданные до настоящего времени, использовали принципы автоматики, основанные на отдаче ствола с коротким откатом ствольной группы или на отводе пороховых газов, так как именно эти системы лучше всего удовлетворяют требованиям, предъявляемым к оружию такого типа. Отдача затвора, если учесть характер его движения (откат на полный ход автоматики), очевидно, не может быть с должным успехом использована для пушек револьверного типа или для других типов многокамерного оружия. Однако существуют системы револьверного типа, в которых продольное перемещение стреляной гильзы назад после выстрела используется с большим успехом. Это движение является не только источником энергии для привода автоматики, но создает также весьма эффективную обтюрацию зазора между казенной частью ствола и передним торцем патронной камеры.

Таким образом, можно утверждать, что любые применяемые для крупнокалиберного оружия системы автоматики могут быть использованы как для многокамерного оружия, так и для оружия обычного типа. В настоящем анализе мы не рассматриваем, как именно могут быть использованы эти системы для многокамерного оружия и какую форму могут принять механизмы, использующие энергию пороховых газов. Нам достаточно установить, что при создании автоматической системы многокамерного типа следует применять одну из существующих систем или их комбинацию для передачи движения детали или узлу деталей, несущих отдельные патронные камеры.

После этого необходимо рассмотреть возможность перезарядки системы многокамерного типа в процессе работы автоматики. Например, в системе Эгера эта проблема была решена путем снабжения оружия

таким количеством патронных камер, которое обеспечило требуемый для данного образца боекомплект и ведение продолжительного огня без перезарядки. Иначе говоря, отдельные патронные камеры заранее снаряжались порохом, пулями и капсюлями (или унитарными патронами). Патронные камеры использовались, как современные патроны, с таким расчетом, что механизм автоматики ставил их поочередно за казенной частью ствола, затем производился выстрел и стреляная камера удалялась из коробки автоматики. Недостатком такой системы является то, что подобное устройство должно резко утяжелить систему вооружения самолета, так как отдельные камеры по весу превосходят любой патрон равной им мощности. В эпоху капсюльного оружия, требовавшего много времени на зарядку камер, такая конструкция, возможно, и была рациональной. Для современного же скорострельного оружия, отличающегося повышенной мощностью выстрела, применение боекомплекта, состоящего из большого числа отдельно заряженных патронных камер, неэффективно.

Для крупнокалиберной скорострельной авиационной пушки вес нормального боекомплекта, состоящего из патронных камер, снаряженных унитарными патронами, слишком велик, не говоря уже о том, что продвижение с достаточной скоростью такой ленты с нормальным подтягом по приемнику пушки связано с большими затруднениями.

Нет ничего удивительного в том, что применение систем с отдельными патронными камерами было прекращено при появлении унитарных патронов. Унитарный патрон, в котором компактно и прочно собраны воедино снаряд, порох и капсюль, очень удобен для надежной досылки элементов выстрела в патронник, а наличие латунной гильзы решило все проблемы обтюрации казенной части оружия при выстреле. Однако применение унитарных патронов, устранив многие дефекты автоматического оружия, поставило новую, иногда трудно разрешимую проблему удаления стреляной гильзы из патронника после выстрела.

В магазинном и самозарядном оружии и в большинстве пулеметов проблемы досылки очередного патрона в патронник и экстракции стреляных гильз сопряжены с известными трудностями, впрочем, не очень значительными. В системах же с высоким темпом стрельбы и, особенно, в системах с многокамерным казенником возникают совершенно новые, иногда непредвиденные затруднения. Следует оговориться, что эти проблемы связаны не столько с самим процессом досылания нового патрона и экстракцией стреляной гильзы, сколько с их длительностью. Например, в автоматической системе с темпом стрельбы 1500 ***выстр/мин*** на полный цикл этих операций можно отвести всего 40 миллисекунд. Разумеется, последовательность операций в основном зависит от конструкции системы, но для всех ясно, что длительность цикла автоматики сказывается на требованиях, предъявляемых к работе отдельных механизмов автоматики, и задача получения надежной работы этих механизмов значительно усложняется. Поэтому механизмам, предназначенным для досылания очередного патрона и для экстракции стреляной гильзы в системах с многокамерными казенниками, следует уделить много внимания. Нужно

иметь в виду не только конструктивную сторону этого вопроса, но и последовательность отдельных операций при работе автоматики. Необходимо учесть, что операции досылки и извлечения стреляной гильзы не должны мешать работе других механизмов пушки.

Важным моментом при проектировании многокамерного оружия является амортизация его отдачи при выстреле. Если оружие работает на принципе использования отдачи, то значительная часть энергии отдачи будет израсходована на приведение в действие механизмов оружия; но в системе с отводом пороховых газов сила отдачи не используется для работы автоматики и должна восприниматься самой установкой. Многокамерное оружие также имеет отдачу. Воспламенение порохового заряда сопровождается быстрым ростом давления пороховых газов в патроннике. Расширяющиеся пороховые газы выталкивают снаряд из канала ствола, причем, поскольку вся масса газов следует за снарядом, центр ее тяжести перемещается вперед. Скорость перемещения центра тяжести массы пороховых газов равна примерно половине скорости перемещения снаряда, так как пороховые газы не только перемещаются по каналу ствола, но одновременно и расширяются. Пока снаряд движется по каналу ствола, давление пороховых газов, перемещая снаряд и газы по каналу ствола, действует и на казенную часть оружия, вызывая равную и направленную в противоположную сторону реакцию, стремящуюся сместить оружие назад. Эта сила известна как сила отдачи, и ее величина в любой момент зависит от давления пороховых газов в канале ствола.

После вылета снаряда из канала ствола сила отдачи не прекращает свое действие, а продолжает существовать как реакция движения пороховых газов, выходящих из канала ствола. Усилие отдачи лишь тогда падает до нуля, когда остаточное давление пороховых газов не уменьшается до величины атмосферного давления. Для штатного 20-*мм* патрона это происходит лишь через 8 миллисекунд после воспламенения порохового заряда. Усилие отдачи сообщает пушке определенную скорость отката, величина которой, а следовательно, и величина кинетической энергии пушки, зависит от мощности патрона и способа крепления пушки на установке.

При анализе условий отдачи желательно прежде всего рассматривать скорость и энергию пушки при условии, что она крепится на установке совершенно свободно и на ее откат не влияют ни силы трения, ни какие-либо другие посторонние силы. Эти условия называются условиями свободного отката. Если оружие не подвергается каким-либо внешним воздействиям, то импульс усилия отдачи, действующий на протяжении всего периода повышенного давления пороховых газов, включая и период последействия, сообщает пушке количество движения, равное количеству движения снаряда и всей массы пороховых газов, но обратного знака. Скорость отката зависит от массы откатывающихся частей. Пушка получает максимальную скорость отката в конце периода последействия. Поскольку мы допускаем, что при откате на пушку не действуют внешние силы, она будет откатываться назад по инерции. Хотя

это допущение помогает анализу, осуществить такое условие на практике невозможно.

При нормальных эксплуатационных условиях откат любого оружия должен ограничиваться какой-то определенной величиной. Это обеспечивается созданием тормозящих откат усилий. Для малокалиберного и маломощного оружия часто применяется так называемая жесткая установка, при которой сила отдачи воспринимается непосредственно лафетом, а оружие откатывается назад на очень малую величину. Однако такое крепление совершенно исключается в том случае, если оружие имеет большой калибр и мощный патрон. Например, для 20-*мм* пушки максимальное усилие отдачи достигает 20000—28500 фунтов (9—13 *т*) и более. Очевидно, что при таких усилиях отдачи крепление пушки на установке должно включать элементы амортизации и поглощения энергии. Установку нужно снабжать специальными откатниками, чтобы количество движения пушки было постепенно сведено до нуля за счет создания небольших по величине усилий торможения, действующих на пушку в течение относительно продолжительного периода времени на большом отрезке пути. Таким образом скорость отката постепенно снижается до нуля. Количество энергии, которое может быть поглощено установкой, и величина тормозящего усилия зависят от многих факторов. При заданной мощности патрона основным фактором, влияющим на параметры отката, является вес откатывающихся частей.

Пушка получает кинетическую энергию главным образом в начале сгорания заряда, когда усилие отдачи очень велико. Поскольку силы, тормозящие откат, относительно невелики, а максимальные усилия отдачи равны 20000 — 28500 фунт, усилия, тормозящие откат во время отдачи, оказывают сравнительно небольшое действие. Следовательно, при максимальном давлении пороховых газов силы отдачи не встречают большого сопротивления и поэтому скорость отката достигает своего максимума. Очевидно, что в этот период основным фактором сопротивления откату пушки является масса откатывающихся деталей.

При заданном патроне и откатных деталях с какой-то конечной массой мы можем установить величину энергии отдачи и скорость отката. Остается найти способ поглощения скорости и энергии отката внутри самой системы амортизации. Поскольку проблема сводится к поглощению энергии отдачи, речь идет о том, как эта энергия может быть использована для выполнения какой-то работы.

Если принцип работы автоматики пушки основан на отдаче ствола, то значительная часть энергии отдачи может быть использована на совершение полезной работы в самой системе автоматики. В этом случае значение откатной системы установки уменьшается и задача поглощения остаточной энергии отдачи пушки значительно упрощается. Более того, часто в системах с откатом ствола затраты энергии в самом механизме автоматики настолько велики, что ее необходимо увеличивать за счет применения дульных усилителей отдачи и других устройств. В этих случаях основной проблемой становится не уменьшение усилия отдачи, а ее увеличение.

С другой стороны, в таком оружии, как пушка с отводом пороховых газов, энергия отдачи совершенно не используется и относится к числу дефектов системы. Поскольку энергия отдачи не расходуется на работу автоматики, в установке необходимо предусмотреть систему амортизации, способную поглотить и израсходовать энергию отдачи на какую-то постороннюю механическую работу. Это означает, что откатывающиеся части должны тормозиться силой, действующей на вполне определенном расстоянии. В соответствии с этим мощная автоматическая система, работающая на принципе отвода пороховых газов, монтируется в направляющих, по которым пушка откатывается назад под действием силы отдачи. Установка снабжается тормозным устройством, поглощающим большую часть энергии отдачи и одновременно аккумулирующим часть этой энергии для обеспечения наката пушки в крайнее переднее положение. В авиационной автоматической пушке среднего калибра энергия отдачи обычно превращается в тепловую энергию с помощью набора кольцевых пружин трения или гидравлического буфера. Часть энергии отдачи аккумулируется в ствольной пружине, обеспечивающей накат пушки. Более крупные авиационные системы, как правило, снабжаются гидравлическими буферами отката и пневматическими откатниками, причем оба эти устройства служат для поглощения энергии отдачи. Большая часть энергии расходуется в тормозе на теплообразование и лишь сравнительно небольшая часть ее аккумулируется в пневматическом откатнике и используется для наката пушки.

Конструктивные характеристики системы амортизации отдачи автоматического оружия в значительной степени зависят от требований, предъявляемых к установкам, и, разумеется, от темпа стрельбы оружия. С точки зрения простоты конструкции откатного механизма желательно подвергать систему автоматики в откате действию минимальной по величине нагрузки, т. е. создавать минимальное тормозящее усилие. Однако поскольку работа, которая должна быть выполнена для поглощения энергии отдачи, является величиной более или менее определенной, при малых силах торможения откат системы чрезмерно велик. В большинстве случаев условия монтажа оружия на установке исключают большой откат; более того, если большой откат допустим для данной установки, он может вызывать серьезные затруднения в самой системе автоматики. Конструктор, поставленный перед необходимостью выбирать между коротким откатом и небольшим тормозящим усилием, в большинстве случаев вынужден остановиться на первом и примириться с неизбежными при таком выборе трудностями, вызываемыми необходимостью резкого увеличения сил торможения и наличием больших нагрузок на цапфы установки.

Преимущество короткого отката вытекает также и из анализа времени отката авиационной скорострельной пушки на установке. Допустим, что вес 20-*мм* авиапушки с темпом стрельбы 1500 *выстр/мин* и мощность ее патрона таковы, что начальная скорость отката составляет примерно 10 фут/сек, что вполне допустимо для многокамерного оружия калибром 20-30 *мм*. При заданном темпе стрельбы пушка долж-

на откатиться и накатиться, заняв свое крайнее переднее положение за 1500 : 60 = .04 *сек.* Это — максимальное время, так как работа автоматики ненадежна, если время ее цикла меньше общего времени отката и наката пушки. Поскольку при стрельбе направление движения пушки изменяется, что не может быть осуществлено мгновенно, можно предположить, что средняя скорость движения для полного цикла будет равна половине максимальной скорости отката пушки, т. е. примерно 5 фут/сек (1,5 *м/сек*). Умножая эту скорость на допустимое время цикла (.04 *сек.*) мы получаем, что общий путь, проходимый пушкой при откате и накате, равен .2 фут (60 *мм*). Отсюда легко установить, что путь отката пушки, равный половине этой величины, составляет .1 фута (30 *мм*).

Из проведенного анализа видно, что откат скорострельной пушки ограничивается малой скоростью отката и строго определенным временем цикла автоматики. Полученная нами расчетная величина отката несколько завышена. У штатной 20-*мм* авиационной пушки револьверного типа эта величина колеблется в интервале .25—.5 дюйма (6,2—12,5 *мм*). Это объясняется тем, что значительная часть энергии отдачи поглощается откатным устройством и поэтому средняя скорость наката значительно ниже средней скорости отката.

При таких относительно малых ходах отката системы средние тормозящие усилия в откатнике сравнительно велики. Допустим, что вес откатных частей системы рассматриваемой пушки 100 фунтов (45,4 *кг*). При начальной скорости отката 10 фут/сек кинетическая энергия пушки

$$E = \frac{1}{2} MV^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{100}{32.2} \cdot 10^2 = 155{,}3 \text{ фунт.фут } (21{,}1 \text{ кгм})$$

Если вся эта энергия должна быть поглощена на пути в .25 дюйма (6,25 *мм*), то среднее усилие отдачи на этом участке

$$F = \frac{E}{D} = \frac{155.3 \cdot 12}{.25} = 7450 \text{ фунт } (3380 \text{ кг})$$

В реальной системе часть этого усилия приходится на долю пружины, которая аккумулирует энергию, достаточную для возвращения пушки в исходное положение. Остальная часть усилия приходится на долю буфера из кольцевых пружин трения, при поджатии которых большая часть энергии превращается в тепловую.

Так или иначе, общее усилие 7450 фунт передается на пушечную установку через цапфы.

Этот примерный анализ показывает, что в скорострельной автоматической системе револьверного типа нельзя избежать короткого отката пушки и большого усилия на цапфах. В силу этого проектирование откатных устройств для такого оружия затруднительно и должно проводиться особенно осторожно.

При анализе обычной револьверной пушки необходимо рассмотреть последовательность операций автоматического цикла по времени. Хотя для многокамерного оружия этот вопрос решается несколько проще, чем для оружия с возвратно-поступательным движением затвора, тем не менее некоторые моменты требуют особого внимания. Особенно интересны вопросы, связанные с возможностью установления теоретического предела скорострельности автоматических систем этого типа. Ограничения темпа стрельбы удобнее всего устанавливать путем рассмотрения последовательности операций цикла автоматики. Предположим, что пушка заряжена и что первый патрон, находящийся в патронной камере, поставлен точно по оси канала ствола, т. е. пушка подготовлена к ведению огня. С момента включения тока, воспламеняющего электрокапсюль, и до момента, когда давление в патронной камере упадет до величины, при которой можно начать перемещение патронной камеры, проходит около 10 миллисекунд. После выстрела патронная камера должна сместиться с оси канала ствола и освободить место для следующей заряженной патронной камеры. Время, необходимое для выполнения этой операции, не может быть точно установлено в данном анализе, так как целиком зависит от конструкции пушки и количества энергии, которое может быть использовано для этой операции.

Нужно учесть, что механизм, перемещающий патронную камеру, должен быть достаточно тяжелым и обладать большой инерцией. Для того чтобы поставить очередную патронную камеру в положение выстрела, этот механизм нужно отпереть, затем разогнать до какой-то определенной скорости, остановить в положении выстрела и замкнуть. Даже в том случае, когда патронные камеры расположены на минимальном расстоянии друг от друга, величина перемещения механизма бывает достаточно большой и для выполнения операций отпирания, разгона, останова и замыкания требуется определенное время. При очень высоком темпе стрельбы общее время цикла автоматики чрезвычайно мало, а следовательно, мало и время, которое отводится на выполнение отдельных операций цикла. Все это означает, что механизм в целом должен иметь очень большие ускорения, чтобы каждая операция цикла заканчивалась своевременно.

Для того чтобы представить себе величину ускорения, которого можно ожидать в скорострельной системе многокамерного типа, рассмотрим 20-*мм* пушку с темпом стрельбы 1500 ***выстр/мин.*** Один цикл автоматики продолжается .04 *сек.* Из этого времени 10 миллисекунд расходуется на воспламенение капсюля, сгорание порохового заряда и понижение давления в канале ствола до уровня, при котором можно произвести смещение патронной камеры. Таким образом, для смены камеры может быть затрачено .03 *сек,* из которых по крайней мере 5 миллисекунд необходимы для работы механизма, отпирающего многокамерный казенник перед началом его перемещения и запирающего его по окончании перемещения. Следовательно, для перемещения патронной камеры, или, что то же самое, для проворота барабана остается 25 миллисекунд. В течение этого промежутка времени тяжелый барабан должен получить максимальную скорость и затем вновь потерять ее перед своим остановом. Допустим, что линейное расстояние между центрами двух соседних

патронных камер равно ~2 дюймам (50 *мм*). Допустим далее, что кулачковые пазы, обеспечивающие перемещение камеры, спроектированы с таким расчетом, что это перемещение происходит в два приема: с равномерным ускорением на первом участке и с равномерным замедлением на втором. Тогда для участка ускорения имеем интервал времени, равный 25 : 2 миллисекунд. В течение этого времени механизм смены патронной камеры должен пройти половину общего пути, т. е. один дюйм. Искомое равномерное ускорение может быть найдено по формуле

$$S = \frac{1}{2} a t^2.$$

Решив это уравнение относительно a получим

$$a = \frac{2S}{t^2}$$

Сделав необходимые подстановки, получаем

$$a = \frac{2 \cdot 1 \cdot .0833}{.0125^2} = 1066 \text{ фут/сек}^2 \ (320 \ м/сек^2)$$

Так как мы допустили, что период замедления равен периоду ускорения, величина замедления также будет равна 320 $м/сек^2$.

Это ускорение достаточно велико (оно в 33 раза больше ускорения земного притяжения). Для того чтобы определить силу, необходимую для создания такого ускорения, допустим, что масса барабана равна 50 фунт. (22,7 *кг*). В этом случае

$$F = Ma = \frac{50}{32.2} \cdot 1066 = 1655 \text{ фунт } (750 \ кг)$$

Разумеется, что эти расчеты приблизительны, но они показывают, каковы должны быть время, ускорение и силы в скорострельной многокамерной автоматической системе.

Для того чтобы автоматика работала плавно, нужно тщательно продумать последовательность всех операций. Пороховой заряд должен воспламеняться в точно установленное время; не допускается запаздывание или слишком раннее отпирание барабана; привод барабана должен включаться немедленно после его отпирания, а запирание должно производиться именно в тот момент, когда заряженная патронная камера достигнет положения выстрела. Малейшее замедление в выполнении той или иной предыдущей операции может серьезно повлиять на длительность последующей. Аналогичные требования точного соблюдения последовательности операций, протекающих весьма быстро, мы встречаем во всех звеньях кинематической цепи системы многокамерного типа.

III. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ РЕВОЛЬВЕРНОЙ МНОГОКАМЕРНОЙ СИСТЕМЫ

В предыдущем разделе были рассмотрены общие проектные характеристики оружия автоматического типа с многокамерным казенником, отделенным от ствола, и проанализированы вопросы, специфичные для любой многокамерной системы независимо от ее конструктивных элемен-

Фиг. 126. Схема типичной револьверной пушки с отводом пороховых газов.

тов. Необходимо иметь в виду, что один из возможных вариантов конструкции многокамерного оружия завоевал в настоящее время исключительную популярность. Ниже этот механизм будет рассмотрен более подробно. Схема устройства револьверного автоматического оружия показана на фиг. 126, А. Среди основных элементов этой системы следует назвать барабан, ствол и ствольную коробку, или раму. Револьверная автоматическая пушка должна иметь, кроме того, устройство, использующее отдачу ствольного узла или отвод пороховых газов для автоматического проворота барабана, а также откатное устройство и механизмы воспламенения подачи патронной ленты.

Механизм, показанный на фиг. 126, взят с патентного описания системы Кларка, о которой говорилось выше, построенной на принципе отвода пороховых газов. На схеме показаны все основные детали за исключением откатников и экстрактора. На фиг. 126, А можно видеть расположение деталей после выстрела, а на фиг. 126, В—при заднем положении ползуна.

Описание автоматического цикла

Цикл автоматики типичного револьверного оружия состоит из следующих операций. В начале цикла патрон находится в патроннике барабана, расположенном в вертикальной плоскости симметрии барабана внизу (будем считать это положение как положение под углом 180°). Поскольку барабан рассматриваемого оружия имеет 8 гнезд, при первом выстреле патроны находятся в патронниках, расположенных под углами 0°, 45°, 90°, 135° и 180°. Все патронники, расположенные слева от плоскости симметрии, не заряжены. При выстреле давление пороховых газов в патроннике, ось которого совпадает с осью ствола, разгоняет снаряд и одновременно вызывает откат системы. Как только снаряд пройдет мимо газового отверстия, пороховые газы по специальному газопроводу отводятся в газовый цилиндр и начинают действовать на газовый поршень. Время начала этого процесса зависит от расположения газового отверстия и обычно наступает через .001 — .002 *сек.* после воспламенения заряда. Взаимодействие поршня и кулачкового паза, находящегося на ползуне, рассчитано так, чтобы барабан мог повернуться не в момент начала движения поршня, а только через некоторый период времени, в течение которого давление в канале ствола понизится до некоторой допустимой величины.

После вылета снаряда из канала ствола считается достаточной выдержка в несколько миллисекунд. При отходе ползуна назад кулачковый шип, скользящий по предназначенному для поворота барабана пазу ползуна, смещается вправо, причем ведущий палец храпового механизма западает в соответствующий вырез на барабане и поворачивает его. Этого поворота достаточно для того, чтобы очередной заряженный патронник переместился в положение выстрела. Откат ползуна обеспечивает экстракцию стреляной гильзы из патронника и подвод (при помощи кулачкового механизма) движка подачи с патронной лентой для подачи

нового патрона в патронник барабана. Когда поршень вместе со своим ползуном начинает накатываться (фиг. 126, С), толкатель выталкивает очередной патрон из звена в пустой патронник, находящийся в этот момент в нулевом положении (крайнее верхнее положение). Одновременно движок подачи приходит в исходное положение, а палец храпового механизма смещается обратно и останавливается напротив очередного выреза на храповом кольце барабана. При этом цикл автоматики заканчивается и новый цикл начинается с выстрела патроном, находящимся в патроннике и занимающим крайнее нижнее положение.

Анализ основных характеристик системы

Как указывалось ранее, револьверная система является частным случаем многокамерного оружия с отделенными от ствола патронными камерами. Начиная анализ, следует прежде всего остановиться на вопросе, почему вращающийся барабан является наиболее приемлемой формой механизма, обеспечивающего последовательное подведение патронных камер к оси канала ствола. Преимущества такого механизма становятся очевидными, если мы сравним его с оружием, в котором подвижные патронные камеры расположены в горизонтальной или какой-либо иной плоскости. В последнем случае патронники размещаются в плоской плите, и патронные камеры последовательно подводятся к оси ствола за счет бокового перемещения плиты.

При ограниченном количестве патронов в боекомплекте такое устройство работает удовлетворительно, хотя оно занимает слишком много места и габариты и центр тяжести оружия при ведении огня резко изменяются по мере перемещения плиты с патронными камерами. Для обеспечения более или менее продолжительной очереди, плита должна перемещаться из одного крайнего положения в другое. Очевидно, что в момент перемены направления движения плиты очередной патронник, подходящий к каналу ствола, должен быть именно тем патронником, из которого только что был произведен выстрел. При таких условиях продолжительная очередь с высоким темпом стрельбы невозможна.

Вращающийся барабан не имеет таких недостатков. Механизм револьверного автоматического оружия компактен и сравнительно прост в эксплуатации. Форма оружия остается постоянной в процессе работы автоматики, и центр его тяжести практически не меняется при стрельбе. Наиболее важным достоинством этого механизма является его цилиндрическая форма, обеспечивающая как бы бесконечный подвод камер к оси канала ствола, в результате чего после выстрела всегда будет достаточно времени для извлечения из первой камеры стреляной гильзы и для досылки в нее очередного патрона. В течение этого времени будут производиться выстрелы из других камер.

Хотя револьверная система кажется достаточно простой, все же в ней имеется ряд недостатков, которые в течение почти 80 лет не давали возможности полностью автоматизировать работу револьверного ору-

жия. В малокалиберном оружии этого типа, рассчитанном на применение сравнительно маломощных патронов и низкий темп стрельбы, эти недостатки были устранены в результате тщательной отработки конструкции, а также путем повышения качества изготовления и пригонки деталей. Но в револьверной скорострельной пушке, использующей современные мощные патроны, условия работы деталей настолько отличаются от работы деталей в обычных револьверах, что устранение недостатков подобными методами оказалось неэффективным.

Одна из самых трудных проблем, возникающих при конструировании револьверной пушки, связана с устранением прорыва пороховых газов в зазор между передним торцем патронной камеры и задним торцем ствола. Другая серьезная трудность, возникающая при длинных очередях и при высоком темпе стрельбы, обусловлена огромным количеством тепла, аккумулируемого в барабане. Кроме того, серьезные затруднения вызывает необходимость точного совпадения оси канала ствола с осями всех патронных камер барабана. Наконец, тот факт, что снаряд должен пройти известный путь по каналу патронной камеры до врезания ведущего пояска снаряда в нарезную часть ствола, также вызывает известные трудности.

Эти четыре проблемы, кажущиеся на первый взгляд несложными, на самом деле оказались, как говорится, камнем преткновения на пути развития оружия револьверного типа. Учитывая важность этих проблем, мы подробно рассмотрим их ниже.

В первую очередь остановимся на вопросе, связанном с предотвращением прорыва пороховых газов. Попытки борьбы с прорывом пороховых газов в месте разъема ствола и барабана были предприняты при появлении первых образцов оружия с многокамерным казенником. Некоторые способы обтюрации пороховых газов, применявшиеся при этом, оказались достаточно эффективными, но ни один из них не выдержал испытания времени, и все они постепенно заменялись новыми, более эффективными, способами. В современном револьвере единственным эффективным средством борьбы с прорывом пороховых газов является точная пригонка между передним торцем барабана и задним торцем ствола. Но это не устраняет прорыв пороховых газов даже в хорошо сконструированных системах. В любом образце револьверного оружия после нескольких выстрелов на торце барабана образуется слой нагара, а в темноте в зоне зазора при выстреле ясно виден факел пламени. В связи с этим интересно отметить, что глушители, с успехом применяемые в одноствольном оружии, совершенно неэффективны на обычных револьверах, так как прорыв газов через зазор производит не меньше шума, чем звук выстрела от вырывающихся из дула пороховых газов. Для ручного оружия, как показал опыт, выгоднее отказаться от обтюрации зазора, чем усложнять его конструкцию, применяя обтюраторы различного типа. Таким образом, для револьверных патронов, имеющих низкие баллистические характеристики, проблема прорыва пороховых газов не настолько важна.

К сожалению, нельзя так же легко относиться к проблеме прорыва пороховых газов в револьверном оружии, использующем современные мощные патроны.

В револьверном оружии давление пороховых газов нарастает так же быстро, как и в оружии обычного типа. Как правило, момент перехода снаряда из патронной камеры барабана в ствол совпадает по времени с максимальным давлением пороховых газов. В современной авиационной пушке давление пороховых газов может достигать 50000—60000 фунт/дюйм^2 (3500—4200 *кг/см^2*) и, когда снаряд проходит из камеры в ствол, пороховые газы устремляются в зазор между торцами ствола и цилиндра. Если должная обтюрация отсутствует, могут возникнуть крайне неблагоприятные условия работы обеих сопрягающихся деталей. Даже небольшой зазор может вызвать серьезные неприятности, так как пороховые газы, находящиеся под большим давлением и имеющие очень высокую температуру и скорость, прорываясь, вызывают сильное размывающее действие. Уже после нескольких выстрелов это может вывести оружие из строя и сделать его опасным в обращении. Прорыв пороховых газов и размыв ствола и торца цилиндра не являются единственными результатами плохой обтюрации. Она, кроме того, как отмечалось выше, заметно снижает начальную скорость снаряда.

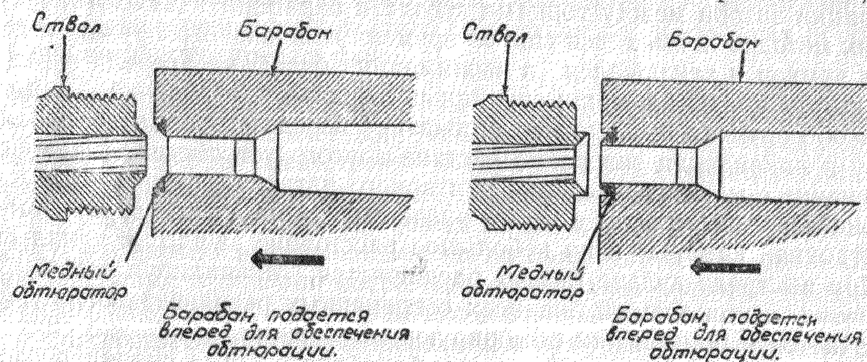
В течение ряда лет проводилась проверка трех основных методов обтюрации зазора между торцами ствола и барабана. Наиболее старый из этих методов применялся еще во времена капсюльного оружия и кремневых замков и заключался в выжимании барабана вперед перед самым выстрелом при помощи специального клина или кулачка. Таким образом обеспечивалось плотное прижатие переднего торца барабана к стволу и ликвидации зазора. Действие другого устройства, нашедшего применение с момента введения унитарного патрона, состояло в досылке патрона перед выстрелом с таким расчетом, чтобы дульце гильзы вышло из патронной камеры и на небольшое расстояние зашло в канал ствола. При выстреле дульце гильзы расширяется, ликвидируя зазор. Третий метод, используемый на всех современных револьверных пушках, заключается в применении обтюрирующего поршня, свободно сидящего в передней части патронной камеры барабана. Когда снаряд проходит по поршню, давление пороховых газов смещает последний вперед и плотно прижимает к торцу ствола до тех пор, пока давление в канале ствола не снизится до сравнительно малой величины. Таким образом, в период действия давления пороховых газов, обтюрирующий поршень перекрывает зазор между стволом и барабаном и уменьшает прорыв пороховых газов до минимума.

Метод смещения барабана вперед может быть осуществлен в различных вариантах, причем наиболее простой из них заключается в тщательной обработке переднего торца барабана и заднего торца ствола для точного совпадения соприкасающихся поверхностей при отжатии барабана вперед. Хотя этот метод технологически самый простой, он не очень эффективен, так как невозможно добиться плотного соприкосновения по всему кольцу обтюрации. Любой дефект поверхностной обработки и на-

личие грязи или нагара на соприкасающихся поверхностях нарушает обтюрацию. Перекос поверхностей или несоосность ствола и патронной камеры приводит к нарушению обтюрации на большей части поверхности. При любом нарушении обтюрации возникает прорыв пороховых газов, быстро нарушающий правильность и чистоту поверхностей соприкосновения и, следовательно, выводящий систему обтюрации из строя. Поэтому невозможно применить подобное устройство в мощном автоматическом оружии.

Можно несколько улучшить указанный способ, делая поверхности заднего торца ствола и переднего торца барабана коническими. Тогда при надвигании барабана создаются условия, подобные условиям работы автоматического клапана. Конические поверхности как бы центрируют друг друга, и плотное соприкосновение по кольцу в этом случае более вероятно, чем у плоских поверхностей. Однако если обе соприкасающиеся поверхности стальные, обтюрация может быть легко нарушена при загрязнении или вследствие производственных дефектов.

Лучших результатов можно добиться путем применения мягких обтюрирующих колец (фиг. 127). Медное кольцо, заделанное в расточке на переднем торце барабана, имеет коническую контактирующую поверхность. Когда барабан надвигается вперед, медь деформируется в соответствии с формой стального конуса на заднем торце ствола, что



Фиг. 127. Применение обтюрирующих колец в расточке переднего торца барабана.

обеспечивает хорошую обтюрацию. Давление пороховых газов в этом случае действует непосредственно на стык двух поверхностей и стремится нарушить обтюрацию там, где контактное давление меньше или где имеется дефект обработки. Таким образом, обтюрация обеспечивается силой кулачкового механизма, надвигающего барабан вперед. На фиг. 127,В показано усовершенствованное обтюрирующее кольцо, которое стремится расшириться от давления пороховых газов. В результате соприкасающиеся поверхности поджимаются друг к другу не только под действием кулачкового механизма, но и силой пороховых газов. При объединенном действии этих сил обтюрация улучшается и прорыв пороховых газов практически исключается. Интересно отметить, что об-

тюрация такого типа встречается на капсюльных револьверах, появившихся более ста лет тому назад.

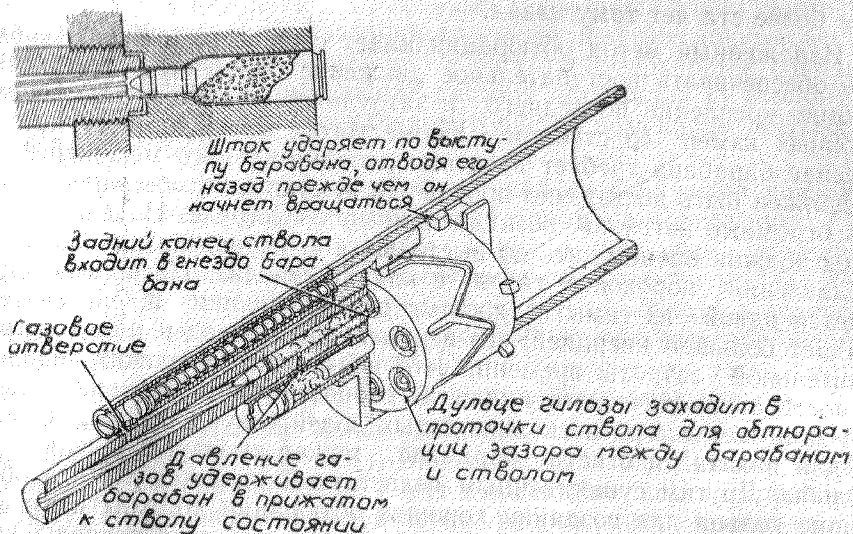
Изложенный метод обтюрации имеет свои недостатки. Необходимость обеспечивать поступательное движение барабана усложняет конструкцию крепления последнего и затрудняет осуществление соосности патронных камер со стволом. Кроме того, возвратно-поступательное движение барабана требует введения дополнительного механизма, который должен быть достаточно прочным и жестким, чтобы он мог выдержать огромные нагрузки, возникающие при выстреле. Подача барабана вперед должна происходить до выстрела, а его отвод назад—после падения давления пороховых газов в канале ствола. Поскольку барабан является одной из самых тяжелых деталей пушки и, следовательно, обладает большой инерцией, его перемещение вперед и назад потребует значительной затраты времени, что неизбежно увеличит продолжительность автоматического цикла. В скорострельном оружии, где этот цикл занимает всего несколько сотых долей секунд, время, необходимое для наката и отката барабана, может вызвать падение темпа стрельбы. Другим существенным недостатком является то, что обтюрирующие кольца для создания хорошей обтюрации должны изготовляться из мягкого материала и поэтому могут быть легко повреждены при небрежном обращении или при нарушении правильности работы всего механизма.

Следующим способом обтюрации, подлежащим рассмотрению, является обтюрация при помощи гильзы патрона, досылаемого вперед до тех пор, пока дульце гильзы не войдет в канал ствола.

Один из вариантов этого способа с применением так называемого утопленного в гильзе снаряда изображен на фиг. 128. В этом случае дульце гильзы полностью закрывает снаряд. При нахождении патрона в патронной камере дульце гильзы выходит немного за торец барабана. После того как патронная камера перед выстрелом занимает свое место по оси канала ствола, весь барабан продвигается вперед, выбирая зазор между торцем ствола и торцем барабана, причем выходящий наружу конец патрона заходит в канал ствола. Таким образом, дульце гильзы перекрывает небольшой просвет, который оставался на месте ранее существовавшего зазора.

При выстреле давление пороховых газов расширяет дульце, которое плотно прижимается к стенкам канала ствола, препятствуя прорыву порохового газа между торцем ствола и торцем барабана. Несмотря на то, что стенки дульца гильзы очень тонки, прорыва газов не наблюдается, если зазор не слишком велик. Допустимая ширина зазора при этом всецело зависит от толщины стенки дульца гильзы. Например, величина зазора 20-*мм* патрона не должна превосходить .030 дюйма (0,8 *мм*).

Такой способ обтюрации также требует принудительного перемещения барабана, что усложняет механизм пушки и может вызвать снижение темпа стрельбы. Кроме того, при такой обтюрации известные трудности связаны с изготовлением боеприпасов, особенно большого

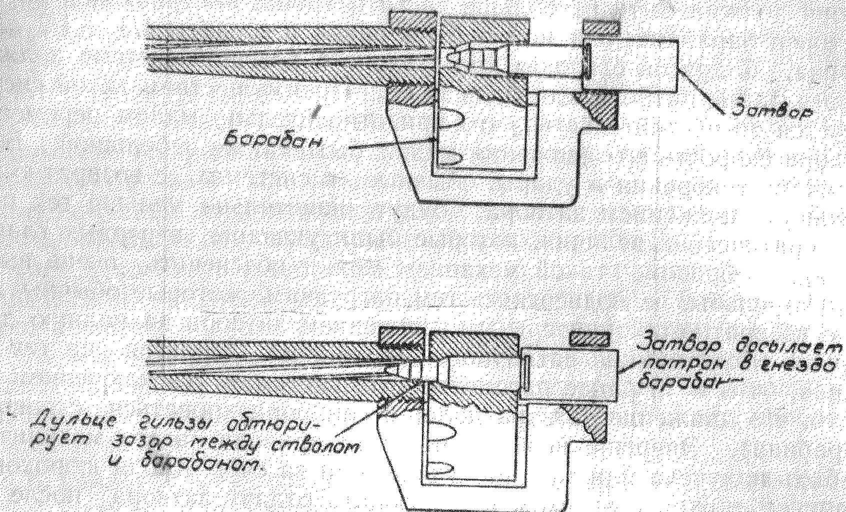


Фиг. 128. Метод обтюрации при помощи дульца патрона.

калибра, когда снаряды должны иметь ведущие пояски. В патронах обычного типа снаряды закрепляются в гильзах позади ведущего пояска, а в патронах с утопленным снарядом весь снаряд целиком должен находиться внутри гильзы. Такой патрон трудно собирать и у него ухудшенные условия движения снаряда, так как последний утоплен в гильзе и не имеет должного направления. Кроме того, патрон неудобен для подачи, так как передние тонкие стенки гильзы могут быть легко деформированы по дульцу. Применение патронов обычного типа для обтюрации стыка стенками дульца гильзы не может быть рекомендовано, так как в этом случае патрон должен слишком далеко выходить за торец барабана.

Выступающая из барабана часть патрона включает в себя снаряд (вплоть до места закрепления его в гильзе) и часть дульца гильзы. Вся эта часть патрона должна заходить в канал ствола. Это означает, что весь барабан должен во время цикла автоматики двигаться назад и вперед на всю длину выступающей за торец барабана части патрона. Такая величина возвратно-поступательного перемещения барабана в скорострельных револьверных системах не допускается.

В конце прошлого века появились некоторые очень остроумные конструкции револьверного оружия, использующего патроны обычного типа, но так, что способ обтюрации при помощи дульца гильзы можно было применять без сообщения барабану возвратно-поступательного движения. В такой системе барабан смонтирован как обычно и поворачивается до тех пор, пока гнездо патрона не дойдет до положения выстрела. Как только барабан займет это положение, патрон, находящий-



Фиг. 129. Метод обтюрации при помощи дульца гильзы обычного патрона.

ся уже в гнезде барабана, досылается вперед (фиг. 129), и специальный затвор запирает его сзади. Расстояние, на которое досылается патрон, достаточно, чтобы снаряд и часть дульца гильзы вошли в канал ствола для обеспечения обтюрации. После выстрела, как только давление пороховых газов в канале ствола достигнет допустимой величины, затвор отпирается и отходит назад, одновременно экстрактируя стреляную гильзу.

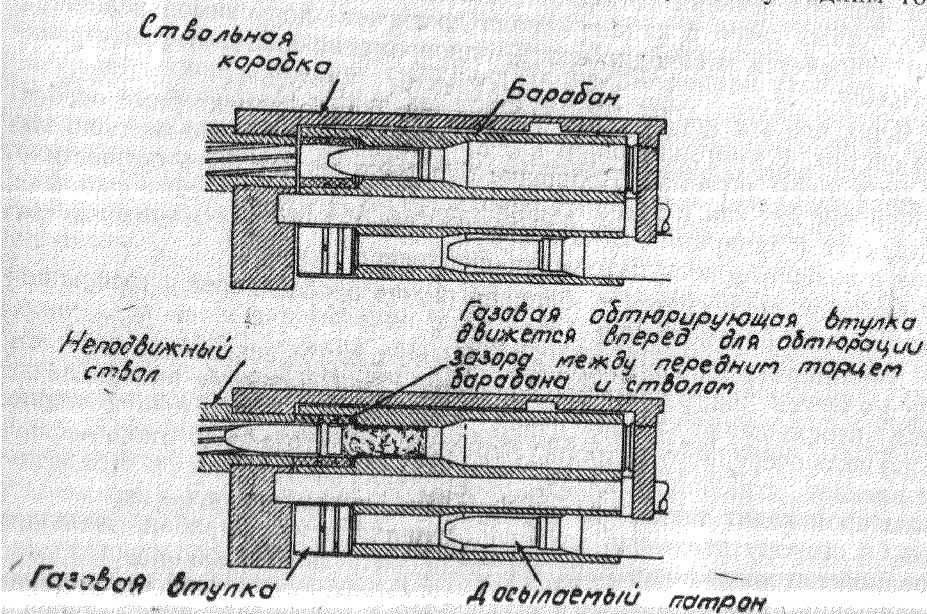
Ясно, что эта конструкция объединяет в себе характерные особенности систем с многокамерным казенником и с возвратно-поступательным движением затвора. Вращение барабана может быть осуществлено точно так же, как в обычных револьверных автоматических системах, а отпирание и запирание, откат и накат затвора, — как в обычных системах с возвратно-поступательным движением затвора.

Однако такая система обладает рядом особенностей, требующих внимательного рассмотрения.

Характеристика движения затвора во многом зависит от того, как осуществляется экстракция стреляной гильзы. Наиболее выгодным является перемещение затвора назад на величину, достаточную только для захвата очередного патрона. Это означает, что затвор лишь частично извлекает стреляную гильзу, а окончание экстракции и отражение гильзы происходит тогда, когда барабан, поворачиваясь перемещает гильзу в сторону движения затвора. Одновременно барабан подводит очередной патрон в положение выстрела, а затвор освобождается для продвижения патрона вперед. При такой работе автоматики путь, проходимый затвором, очень мал по сравнению с величиной пути затвора в системах, не имеющих многокамерного казенника. Поскольку длина хо-

да затвора должна быть не больше части патрона, выступающей за передний торец барабана, она может быть равна в среднем 1/3 — 1/2 длины патрона. С другой стороны, ход затвора в обычной системе должен быть равен длине патрона или больше ее. Преимуществом такой системы является то обстоятельство, что при относительно малом перемещении затвора скорость его движения может быть также небольшой. Благодаря этому, ускорения и удары, обычные в системах с возвратно-поступательным движением затвора, будут значительно меньше тех предельных критических величин, которые были указаны в первых главах книги. Таким образом, такой механизм может обеспечить очень высокий темп стрельбы, не подвергаясь тем нагрузкам, которые обычны для систем с возвратно-поступательным движением затвора на полную длину патрона. Конструкция затворного механизма строится на тех же принципах, что и в ранее рассмотренных системах (исключением является то, что движение затвора должно синхронизироваться с поворотом барабана). Энергия, необходимая для привода этого механизма, может быть получена или за счет отдачи, или за счет отвода пороховых газов, причем можно с успехом использовать отдачу затвора после его отпирания.

Третий способ заключается в обеспечении обтюрации при помощи обтюрирующих поршней, или втулок, размещенных в расчетах патронных камер в передней части барабана (фиг. 130). Поршни имеют форму втулок с внутренним диаметром, достаточным для прохода снаряда. Как только ведущий поясок снаряда минует задний обрез обтюрирующей втулки, пороховые газы проникают в зазор между задним торцем



Фиг. 130. Действие обтюрирующего поршня (втулки).

втулки и гнездом барабана и смещают втулку вперед, причем скорость ее перемещения довольно велика. В силу этого поршень-втулка успевает перекрыть зазор между торцем ствола и передним торцем барабана и плотно прижать втулку к торцу ствола прежде, чем задняя часть снаряда войдет в канал ствола. При прохождении снаряда по каналу ствола давление пороховых газов, действующее на задний кольцевой торец втулки, обеспечивает плотную обтюрацию зазора, а кольцевые проточки на наружной поверхности втулки предупреждают возможность прорыва пороховых газов по наружной поверхности втулки. Как только остаточное давление в канале ствола падает до сравнительно малой величины, сила, прижимающая втулку к торцу ствола, исчезает и барабан поворачивается, подавая очередной патрон в положение выстрела.

Метод обтюрации зазора между стволом и барабаном при помощи обтюрирующей втулки конструктивно очень прост и довольно надежен. Однако и применение этого метода связано с рядом проблем, требующих решения.

В данном случае обтюрация подобна обтюрации, получаемой при первом способе, т. е. является следствием контакта металла обтюратора и металла ствола при очень высоком контактном давлении. Если контактные плоскости находятся в хорошем состоянии, обеспечивают полный кольцевой контакт и не загрязнены, то они плотно прижимаются друг к другу по значительной площади и обтюрация бывает хорошей.

Если же какой-либо дефект нарушает контактирование, обтюрация становится неполноценной, а прорыв пороховых газов быстро размывает поверхность ствола или втулки, вследствие чего обтюрация быстро нарушается.

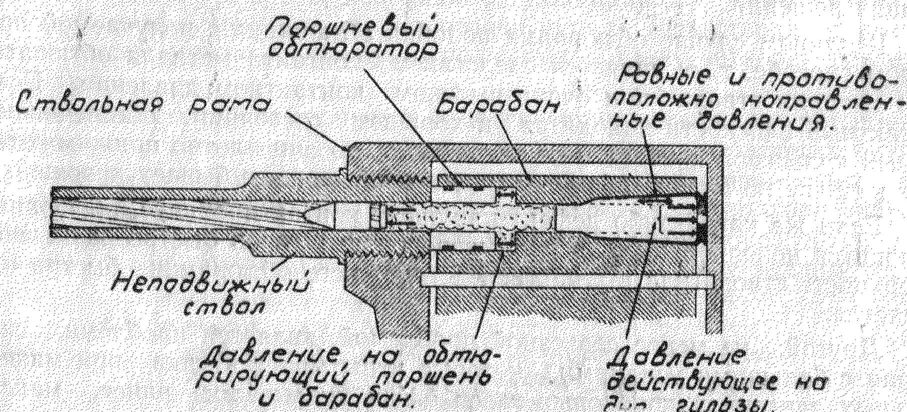
Другой, не менее серьезной проблемой, является проблема, связанная с большими усилиями, которые испытывает втулка при максимальных давлениях пороховых газов. Как указывалось ранее, максимальное давление пороховых газов в современных авиационных пушках достигает величины порядка 45000 фунт/дюйм^2 и даже доходит до 64000 фунт/дюйм^2.

В 30-*мм* авиационных пушках внутренний диаметр втулок достигает 1 фут (30,5 *мм*), при толщине стенок .3 дюйма (7,6 *мм*). Следовательно, площадь торца втулки, подвергающаяся давлению пороховых газов, равна 1.5 дюйм^2 (9,7 *см*^{2}). Допустим, что максимальное давление пороховых газов равно 64000 фунт/дюйм^2. Тогда усилие, смещающее втулку вперед, будет составлять 96000 фунтов. Поскольку вес втулки относительно невелик, она будет перемещаться со значительной скоростью и, следовательно, очень сильно ударять по торцу ствола. В таких условиях задний торец ствола и передний торец втулки будут подвергаться сильному наклепу. При этом втулка должна будет поглотить большую часть энергии удара. Кроме того, температура втулки при стрельбе очередью быстро возрастает и может достигнуть величины, при которой материал втулки потеряет свою прочность.

Все это сильно затрудняет применение обтюрирующих втулок на мощных авиационных скорострельных [illegible] с револьверным меха-

низмами. Даже в случае применения специальных марок сталей втулка сравнительно быстро выходит из строя из-за поломки корпуса или выкрашивания опорных поверхностей.

Применение обтюрирующих втулок требует решения и других проблем, непосредственно не связанных с обтюрацией, но затрагивающих вопросы проектирования самого оружия. Одну из этих проблем легко понять тем, кто знаком с так называемым плавающим патронником Вильямса, применяемым на учебном оружии, чтобы при помощи патрона калибра .22 дюйма (5,6 *мм*) создать эффект отдачи, равноценный эффекту, получаемому при выстреле из .45 дюймового (11,43 *мм*) штатного пистолета. В револьверном оружии обтюрирующая втулка также способствует увеличению отдачи, хотя здесь увеличенная сила отдачи обнаруживается несколько иначе. Силы, возникающие при действии обтюрирующей втулки, изображены на фиг. 131.



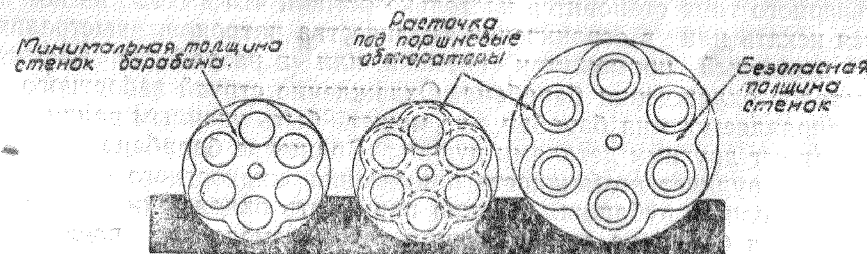
Фиг. 131. Влияние обтюрирующих втулок на распределение сил, приближенных к коробке пушки.

Если бы обтюрирующая втулка отсутствовала, единственной силой, действующей назад, была бы сила давления пороховых газов на часть площади дна гильзы, равную площади поперечного сечения канала ствола. Давление, направленное назад и действующее на остальную площадь дна, уравновешивается давлением, действующим в противоположную сторону на проекцию конической части и переднего ската гильзы. Результирующее усилие передается через дно гильзы на ствольную коробку оружия. Эта сила вызывает напряжение в материале коробки и является той силой, которая обусловливает отдачу оружия.

Действие обтюрирующей втулки вызывает появление дополнительной силы внутри оружия. Как показано на фиг. 131, давление пороховых газов стремится переместить обтюрирующую втулку вперед и одновременно действует на заднюю стенку ее гнезда. Сила, действующая вперед, передается через втулку стволу и через ствол коробке оружия; сила,

действующая назад, передается коробке через барабан и гильзу. Эти силы равны между собой и направлены в противоположные стороны, поэтому они увеличивают не отдачу оружия, а напряжение в материале коробки. Как было указано ранее, это усилие для 30-*мм* пушки может достигнуть 96000 фунтов (43,6 *т*). Поскольку сила давления пороховых газов, действующая на коробку через дно гильзы (на площадь, равную площади поперечного сечения канала ствола), составляет всего 74000 фунт (33600 *кг*), то, очевидно, применение обтюрирующей втулки более чем удваивает напряжение в коробке. С увеличением нагрузки с 74000 фунтов до 170000 фунтов коробка пушки должна выполняться значительно более прочной, чем в случае отсутствия обтюрирующей втулки.

В зависимости от типа боеприпасов применение обтюрирующих втулок может еще более усложнить задачу конструктора. При проектировании барабана револьверной пушки необходимо располагать патронные камеры возможно ближе друг к другу, оставляя между ними стенки минимально допустимой толщины. Такая компактная конструкция, изображенная на фиг. 132, А, позволяет значительно сократить габариты барабана, уменьшить его вес и момент инерции. Тем самым удается не только сократить габариты оружия в целом, но и значительно уменьшить расход энергии на поворот барабана и снизить напряже-



Фиг. 132. Влияние обтюрирующих втулок на размеры барабана.

ния в приводе. Для того чтобы обтюрирующие втулки были достаточно прочными, их стенки должны иметь соответствующую толщину. При попытке значительно расточить гнезда барабана под обтюрирующие втулки, стенки между ними могут оказаться слишком тонкими (фиг. 132, В). Для обеспечения прочности необходимо разнести их так, как это показано на фиг. 132, С. Следовательно, барабан будет больше по габаритам и тяжелее, а сама конструкция пушки от этого значительно ухудшится. Это может произойти только в том случае, когда патрон имеет почти цилиндрическую форму, т. е. когда диаметр гильзы немногим отличается от диаметра снаряда. Если патрон имеет значительную бутылочность, в передней части барабана всегда останется достаточно места для размещения обтюрирующих втулок (даже в случае предельного сближения камер).

Следующей важной проблемой, касающейся проектирования револьверных автоматических пушек, является проблема борьбы с боль-

шим количеством тепловой энергии, поглощаемой барабаном пушки при длинных очередях и при высоком темпе стрельбы. Значение этой проблемы видно из следующего факта. Боеприпасы для современной 30-*мм* авиационной пушки имеют пороховой заряд весом .156 фунт (0,071 *кг*). Скорострельность этой пушки равна 1200 ***выстр/мин.*** Следовательно, при минутной очереди сгорает 188 фунтов пороха. Практически этот порох сгорает в стальном цилиндре весом в 50 фунтов и длиной в 1 фут. Скорость освобождения тепловой энергии при стрельбе из такого оружия исключительно велика, особенно, если учесть сравнительно небольшие размеры барабана, в котором сгорает порох.

Во время продолжительной очереди барабан скорострельной револьверной пушки воспринимает большое количество тепла и температура его быстро растет. Даже при небольших очередях с перерывами в стрельбе, тепло удерживается в стенках барабана, причем рост температуры до опасной величины происходит очень быстро. Как только температура барабана достигает 300—450°С, возможно самовоспламенение патрона. Это особенно опасно для оружия револьверного типа, так как самовоспламенение при наличии патронов, не находящихся на оси канала ствола, в гнездах барабана неизбежно ведет к поломке пушки.

Проблема борьбы с нагревом барабана в скорострельных системах револьверного типа становится настолько острой, что выход из нее приходится искать или в ограничении количества патронов, выстреливаемых за известный промежуток времени, или в разработке эффективных методов охлаждения барабана. Охлаждение струей забортного воздуха, направляемого на барабан, не может быть удачным ввиду того, что он закрыт другими деталями пушки. Вращение барабана во время стрельбы затрудняет возможность применения жидкостного охлаждения или охлаждающей рубашки. Можно применить охлаждение путем продувания гнезд барабана охлаждающим газом немедленно после извлечения стреляной гильзы. Такой же метод охлаждения можно применить и для наружных стенок барабана. Во всяком случае, система охлаждения барабана является одним из основных факторов, от которых зависит способность оружия вести продолжительный огонь.

Третья проблема, возникающая при отработке скорострельных револьверных пушек, заключается в том, что при выстреле необходимо точное совпадение оси канала ствола и оси каждого из гнезд барабана. Для этого нужно разработать механизм поворота, который смог бы обеспечить это совпадение при автоматическом огне.

При незначительном смещении гнезда барабана малокалиберного оружия относительно канала ствола пули, сделанные из мягких материалов, и двигающиеся с небольшими скоростями, слегка деформируются, оставляя стружки свинца на острых ребрах пульного входа ствола, что лишь несколько снижает меткость боя. В авиационной пушке несовпадение оси канала ствола и осей гнезд барабана весьма опасно. Если эксцентриситет камеры патронника и канала ствола достигает .05 дюйма (0,13 *мм*), то возможен срыв ведущего пояска снаряда. При этом не только сам снаряд будет баллистически нестабилен на траектории, но кусок меди, сорванный с пояска, может расклинить механизм

пушки или остаться в стволе, и пушка выйдет из строя. При большем эксцентриситете возможен взрыв снаряда в канале ствола.

Проблема обеспечения в момент выстрела соосности гнезда барабана и канала ствола в пределах .05 дюйма (0,13 *мм*) является одной из труднейших при конструировании современных скорострельных авиационных пушек. Простое совпадение отклонения размерных допусков в неблагоприятную сторону создает очень трудное положение с точки зрения технологии. При этом следует иметь в виду следующие факторы. Гнезда в барабане должны рассверливаться строго параллельно друг другу и на равном расстоянии от центра барабана. Угловое размещение гнезд по окружности должно выдерживаться особенно строго. Крепление барабана на оси должно быть строго концентричным относительно линии центров гнезд. Подшипники, на которых вращается эта ось, не должна иметь диаметральной игры и должны располагаться в коробке так, чтобы оси гнезд барабана точно совпадали с осью канала ствола. Если ствол ввертывается в коробку, то следует выдерживать строгую концентричность канала ствола и его внешней резьбы.

Тот факт, что допуски на все указанные размеры могут суммироваться, делает эту задачу исключительно трудной.

Все сказанное относится к изготовлению деталей и сборке барабана относительно ствола. Еще большие трудности возникают при изготовлении механизма, обеспечивающего поворот барабана. Хотя современная технология обеспечивает весьма жесткий контроль размеров, слишком тщательный контроль обходится дорого. В этом можно убедиться, если учесть, что даже допуск на эксцентриситет канала ствола и патронников обеспечивается лишь в результате очень точных допусков на ряд деталей.

Как бы точно ни была изготовлена револьверная пушка, проблема совпадения осей ствола и гнезд барабана не кончается с ее сборкой. Даже в том случае, если достигнуто полное совпадение осей канала ствола и гнезд барабана в пределах указанного допуска, нет никакой гарантии в том, что это положение сохранится при стрельбе очередями. В мощном оружии с высоким темпом стрельбы все узлы и детали испытывают такие динамические нагрузки, что неизбежны упругие деформации многих, даже самых крупных и массивных деталей. Вибрации, термические линейные и объемные расширения могут вызвать изменение размеров деталей, в результате чего нарушается совпадение осей канала ствола и гнезд барабана, достигнутое при изготовлении пушки. Более того, вследствие обычного износа рабочих поверхностей оружие также может стать непригодным к дальнейшей эксплуатации.

Таким образом, становится очевидным, что нормальная работа и надежность револьверной пушки целиком зависит от совпадения осей канала ствола и гнезд барабана. Достигнуть и сохранить это совпадение в процессе эксплуатации пушки оказалось довольно трудным. Возможно, что решение этой проблемы будет достигнуто за счет разработки такого механизма, который обеспечит прямое и принудительное согласование осей гнезд барабана с осью канала ствола или за счет меха-

низма, который обеспечит принудительную досылку патрона в патронник с вводом снаряда непосредственно в канал ствола до выстрела.

Последняя из проблем, тормозящих отработку револьверного оружия, связана со свободным ходом снаряда до момента входа его в нарезную часть канала ствола. В обычном револьверном оружии снаряд, до того, как он покинет гнездо барабана и войдет в канал ствола, должен пройти путь, равный примерно длине снаряда. При этом снаряд подвергается воздействию высокого давления пороховых газов и, следовательно, достаточно быстро набирает скорость. До момента врезания ведущего пояска в нарезы канала ствола, снаряд приобретает достаточную скорость, но еще не вращается. Когда ведущий поясок начинает врезаться в нарезы ствола, он медленно деформируется и начинает вращаться. При стандартных нарезах крутящий момент может быть очень велик. Его величина зависит от шага нарезов и скорости снаряда. Каждый снаряд обладает известной инерцией, и сила, необходимая для преодоления этого сопротивления, может оказаться больше сопротивления на срез ведущего пояска снаряда. В этом случае поверхность ведущего пояска срезается еще до того, как снаряд приобретает значительную скорость вращения, и полет снаряда на траектории становится нестабильным.

Избавиться от этого недостатка можно путем применения прогрессивной нарезки, особенно, если ее крутизна постепенно увеличивается от нуля. Нарезка такого типа обеспечит более плавное нарастание скорости вращения снаряда, благодаря чему можно избежать срезания ведущего пояска. Однако, если скорость снаряда в момент встречи с нарезами будет очень велика, то возможность среза ведущего пояска не исключается. Хотя ускорение и будет плавным, все же оно будет достаточно большим и, возможно, ведущий поясок не сможет выдержать возникающих при этом сил.

Другим решением этой же проблемы является применение автоматической системы комбинированного типа, при которой патрон продвигается вперед со входом снаряда в канал ствола до выстрела. В этом случае свободного хода снаряда не будет, нарезы будут работать нормально и опасность срезания ведущего пояска отпадает.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
12	12 сверху	при А = 3,2 см	при А = 3,2 $см^2$
54	4 сверху	...создания и практически	...создания практически
104	3 снизу	...более легким	...более легкими
110	2 сверху	(дюйма²)	(дюйм²)
123	3 сверху	$R = \frac{V\overline{2}}{V\overline{1}} = 2$	$R = \frac{V_2}{V_1} = 2$
134	7 сверху	...а в положении рычаг	...а в положении В рычаг
146	7 снизу	Если один...	Есть один...
191	7 сверху	...чем больше площадь	...то чем больше площадь
208	4 сверху	$+ \frac{60 + .55 \cdot 30}{1 + 1.55} =$	$+ \frac{60 + .55 \cdot 30}{1 + .55} =$
217	4 и 3 снизу	...поровых газов	пороховых газов
230	20 сверху	...последействия которых	последствия которых
236	11 сверху	...скорость движения постоянна	...скорость движения не постоянна
237	10 сверху	...V_1 и W_2	V_1 и W_1
250	6 сверху	...скорости затвора пеказано	... скорости затвора показано
258	2 снизу	...ангичанином	англичанином
267	3 сверху	...гнезда под поршнем	...гнезда под поршень
286	5 снизу	...в расчетах	...в расточках
288	фиг. 131 подпись	...приближенных	...приложенных
291	14 сверху	не должна иметь...	не должны иметь...